This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

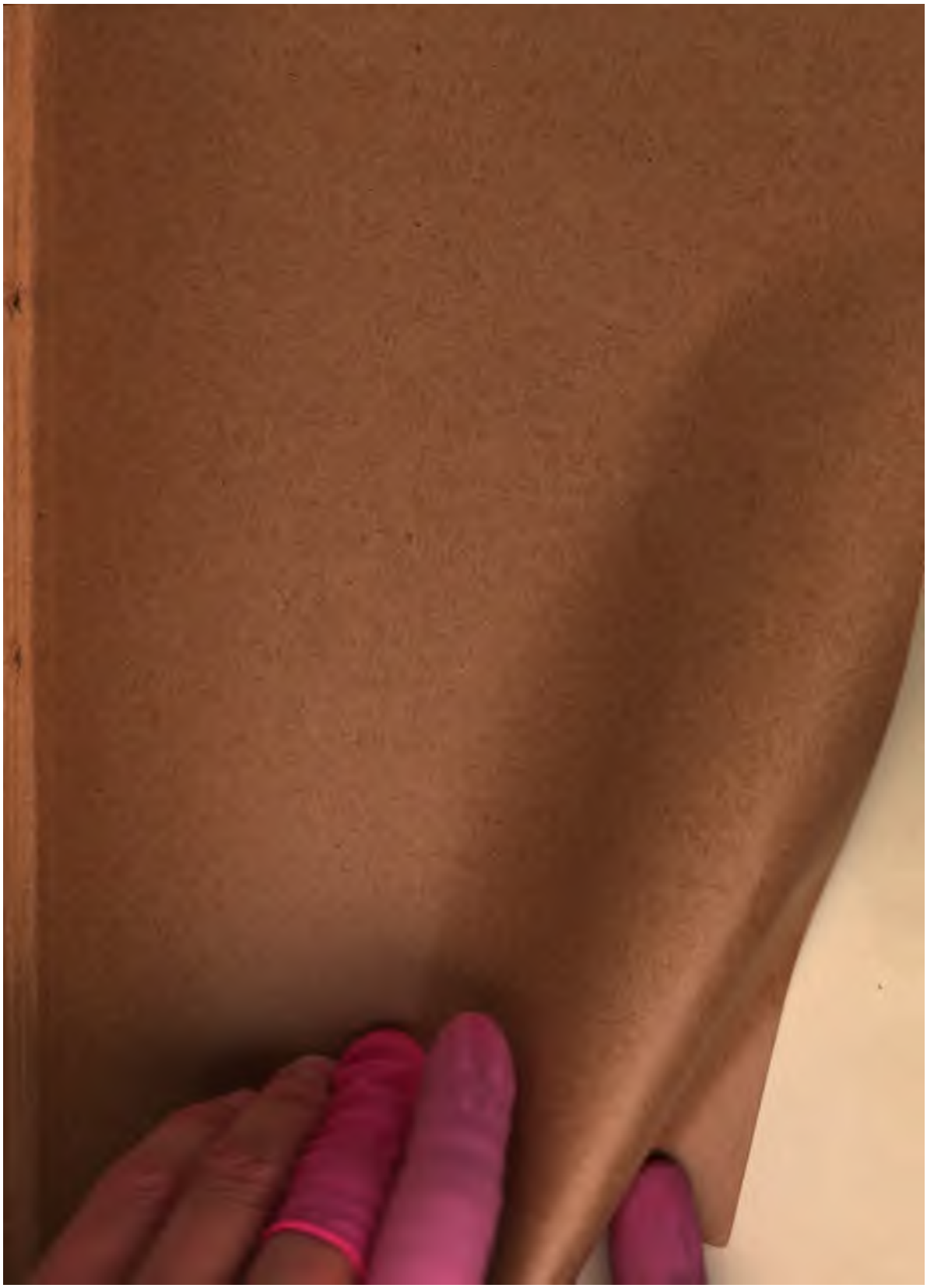
+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`

5 5 7.2
M 6.1 F



25/33 — 2251

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NÚM. 1.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MÉXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

LOS TEMBLORES DE ZANATEPEC

OAXACA

A FINES DE SEPTIEMBRE DE 1902.

ESTADO ACTUAL DEL VOLCAN DE TACANÀ, CHIAPAS

POR

EMILIO BÖSE, DR. PHIL.

(Con 4 láminas.)

LE MEXICAN ... UNIVERSITY

MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Calle de San Andrés núm. 15. (Avenida Oriente 51).

1908

131802

INFORME

SOBRE

LOS TEMBLORES DE ZANATEPEC.

A fines de Septiembre de 1902

Y SOBRE EL ESTADO ACTUAL DEL VOLCÁN DE TACANA.

Los temblores de Zanatepec.

La región de Zanatepec está al pie meridional de la sierra que forma el espinazo de la tierra firme en el Istmo de Tehuantepec. Vemos tanto al Este como al Oeste ensancharse la montaña, lo que indica desde luego condiciones especiales en la tectónica de aquél lugar. Toda la montaña entre la línea del ferrocarril de Tehuantepec y la frontera del Estado de Chiapas es completamente desconocida, tanto geológica como geográficamente considerada. Tampoco sabíamos algo sobre la constitución geológica del Oeste del Estado de Chiapas, de modo que los datos que nos pueden ofrecer la naturaleza geológica del suelo, nos hacen falta absoluta. He podido recoger algunos datos sobre la región mencionada que todavía no son suficientes para dar una idea exacta sobre la tectónica de la montaña, pero que por lo menos indican los rasgos generales de

ella, aunque esta región ofrezca dificultades mayores por ser la parte limítrofe entre el régimen tectónico de Norte América y el de Centro América, los cuales son completamente diferentes, así en su composición, como en su tectónica y en su edad, lo que probaré en una memoria que formará el contenido de un Boletín del Instituto Geológico.

Antes de ocuparme de la tectónica de la región, voy á exponer de cuáles temblores tiene que tratar este estudio. El telegrama que motivó que el señor Secretario de Fomento dispusiera que yo fuera á visitar Zanatepec, fué el siguiente: "Sintióse del 24 al 30 de Septiembre veinte temblores, ruidos subterráneos sureste, repercutidos por lagunas situadas cordillera doce kilómetros de esta ENE. lagunas. Refiérese presidente deben ser las que están encima cerro. Sol y luna tienen casi forma circular, profundidad mayor 25 metros, merecen ser reconocidos por persona inteligente." Según la noticia que la Secretaría de Fomento dió al Instituto Geológico, los habitantes de Zanatepec temían una erupción volcánica de las citadas lagunas que fueron tomadas por cráteres.

Mi trabajo se limitó, pues, á dos puntos: ver de dónde venían los temblores y probar la naturaleza de las lagunas del Sol y de la Luna.

Sabido es que el día 23 de Septiembre de 1902 fué sacudido todo el extremo sudeste de México, por un temblor, y que el epicentro debe haber estado en el Estado de Chiapas. Este temblor se extendió también al departamento de Juchitán, donde produjo desperfectos en construcciones de ladrillo, como por ejemplo, la Jefatura de Juchitán. De antemano era probable que los templores observados en Zanatepec, entre el 24 y el 30 de Septiembre de 1902, fueran del mismo

origen como el del día 23 y podría decirse lo mismo de los temblores secundarios del principal del día 23. Estos temblores, mucho más ligeros que el principal, se sintieron en todo el Distrito de Juchitán, en la mayor parte del Estado de Chiapas y en Tabasco. Esto prueba que el fenómeno no fué puramente local, aunque no se puede probar la coincidencia de los temblores secundarios por falta de datos sobre la fecha y la hora. La mayor parte de las noticias oficiales dicen solamente que hubo una cantidad de temblores entre tal y tal fecha. Por ejemplo, tengo de Tapanatepec las noticias siguientes: "24 de Septiembre.—Temblores continúan con poca intensidad, durante la noche hubo 12, hoy hasta 8 a. m., dos." "1o. de Octubre.—Después del 23 de Septiembre once temblores fuertes de poca duración; ligeros movimientos, acompañados por ruidos subterráneos." He tratado de recoger más noticias sobre estos temblores que siguieron al del día 23, pero no me fué posible conseguirlas, porque no hubo persona que se acordara de la hora y de la fecha; también el número de temblores no me fué bien determinado, porque unos hablaban de veinte, otros sólo de doce. Como todos confirman que los citados temblores venían de la misma dirección, podemos creer, que fueron también del mismo origen.

El temblor del día 23 de Septiembre de 1902, seguramente es uno de los más fuertes que ha habido en los últimos cien años, en Chiapas. Los datos que fueron suministrados al Observatorio Meteorológico Central, son insuficientes para darse idea sobre la extensión, y especialmente la situación del epicentro. Según éstos datos, debería uno ver el epicentro en el Estado de Tabasco, mientras que en realidad estuvo en el

de Chiapas. En mi viaje he podido hacer observaciones casuales sobre los efectos del citado temblor, pero se refieren casi exclusivamente al Centro y al Norte del Estado de Chiapas, mientras que el Sur me es casi completamente desconocido, especialmente la región alrededor de Tonalá. He pedido dos veces las noticias referentes al temblor del día 23 al Gobierno del Estado de Chiapas, especificando por escrito lo que deseaba saber, pero no he conseguido nada, aunque las noticias me fueron prometidas por el señor Gobernador en persona. Tengo, pues, que limitar mis observaciones á lo que ví personalmente. En el Sureste se unen los efectos del temblor del 23 de Septiembre con los de los temblores del 18 de Enero y del 18 de Abril del mismo año, y como parece que el último de estos dos fué el más fuerte del año, por lo menos para el Sureste de Chiapas; según el mapa que construyó Carlos Sapper,[1] con referencia á este temblor, la región de Motozintla estaba dentro de la zona de destrucciones grandes. El temblor del 23 de Septiembre fué ciertamente no tan fuerte como el del 18 de Abril, y abarcó una zona diferente. En el mapa adjunto he indicado la zona de mayor destrucción que se encuentra en el valle del río de Chiapas, especialmente alrededor de San Bartolomé de los Llanos, esta población y la de Acala son las que, según mis observaciones, sufrieron comparativamente mucho. Según la escala de Rossi-Forel deberíamos darle al temblor el grado VI en esta región. Tendrá una longitud de 100 km. por una anchura mayor de 25 km. La región de intensidad menor se extiende mucho más; en ésta compren-

1 Petermanns Mittheilungen, 1903, Tom. 48, pág. 193-195, con un mapa.

do los lugares donde se han cuarteado las casas, á veces caído las tejas ó cornisas; en algunos lugares fué la destrucción algo más fuerte, especialmente en Juchitán; allí la causa probable fué el suelo. Se puede decir que la intensidad del movimiento ha sido casi tan fuerte en Juchitán como en San Cristóbal Las Casas. Esta circunstancia es notable porque San Cristóbal está á unos 10 km. del límite de la zona de mayor destrucción, y Juchitán á unos 180 km. Debemos buscar la causa en la naturaleza del suelo y nos ocuparemos de este fenómeno más adelante, cuando hablemos de la causa del temblor. La zona de intensidad menor abarca también una parte del Estado de Tabasco; no he visto personalmente los desperfectos que causó el temblor, pero puedo referirme á un telegrama mandado por el Gobierno del Estado de Tabasco, en el cual se indican derrumbes en unos barrios de San Juan Bautista y cuarteaduras en edificios públicos, especialmente puentes é iglesias en Cárdenas, Jalapa, Jalpa, Macuspana y Paraíso. Los desperfectos no deben haber sido muy grandes porque cuando yo pasé por Tabasco no noté nada en las casas. Tampoco debe haber sido fuerte el efecto del temblor en la parte septentrional del Estado de Chiapas; en realidad, son los cabildos y las iglesias las únicas casas donde un temblor puede hacer estragos, porque las chozas de los indios son bastante resistentes; hay también unas cuantas fincas en aquellas regiones; pero éstas han sido tan sólidamente fabricadas, ó son de madera, de modo que no se notan efectos del temblor. Especialmente sufrió la iglesia de San Andrés en el partido de Chamula, que fué en parte destruída; toda la zona más al Norte nos muestra sólo en las casas de adobe

cuarteaduras y éstas casi siempre en las esquinas, porque no se usan los amarres en el Estado de Chiapas.

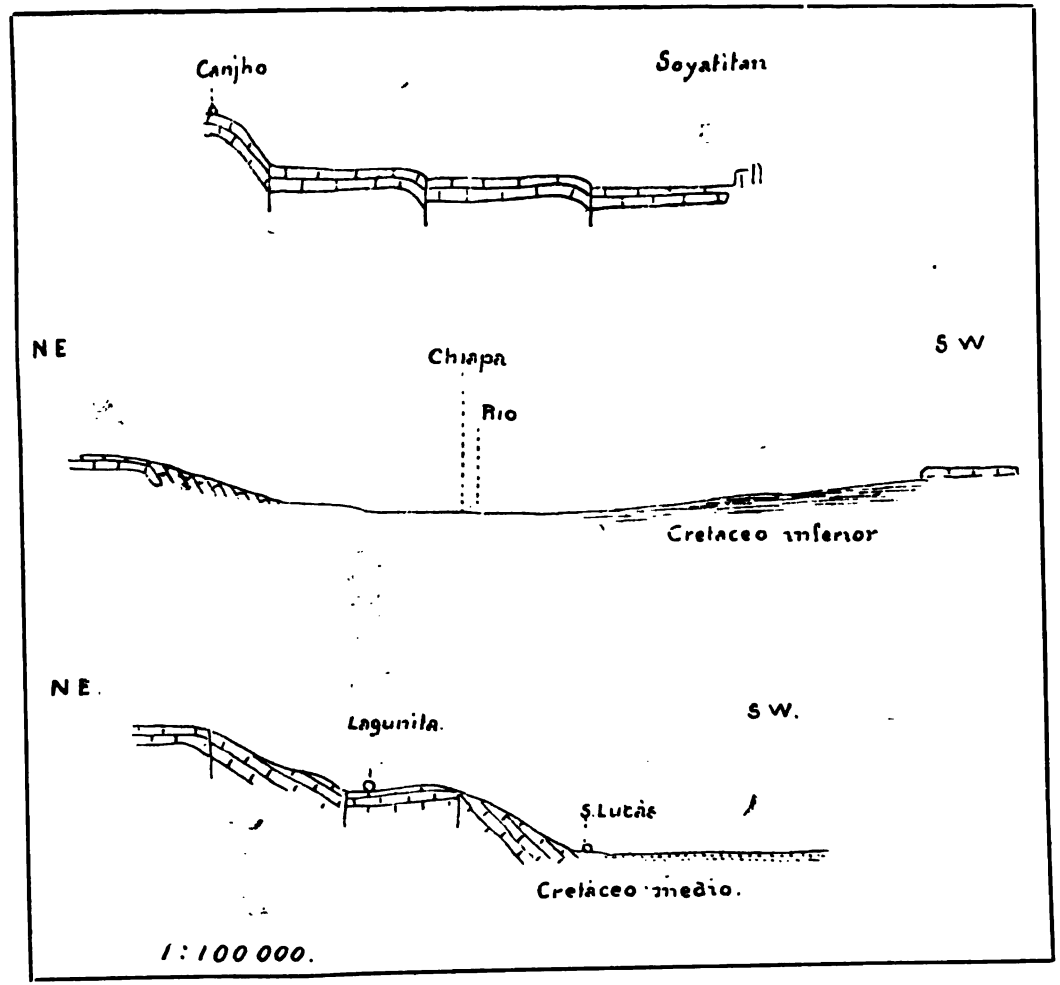
Fuera de la segunda zona hemos indicado en el mapa una tercera que representa la zona que alcanzó el temblor, ó mejor dicho, hasta donde ha podido ser sentido por la gente. Sólo para esta zona son de algún valor las noticias que posee el Observatorio Meteorológico, porque nos indican hasta dónde se ha sentido el temblor. Enteramente insuficientes son éstas noticias en cuanto á la dirección del movimiento y de la hora. Hay una variación entre 1 h. 40 hasta 2.12 p. m. Generalmente no estamos ni seguros de si se trata de la hora de México ó de la hora local. El resultado es que no se puede hacer ninguna especulación sobre la velocidad y la dirección de las ondas séismicas. Tampoco me fué posible obtener datos exactos sobre la hora del temblor en el terreno mismo; sobre la dirección sí me fué posible hacer observaciones por las conclusiones que pude hacer por la dirección de las cuarteaduras, de los derrumbes, etc. Todas estas direcciones indican con más ó menos exactitud como epicentro la región entre Chiapa y Comitán. Vamos á ver más adelante si se puede hablar realmente de un epicentro.

Como no tenemos datos exactos sobre la dirección del movimiento y la hora á la cual se verificó en las diferentes poblaciones el temblor, y diré desde luego que nunca llegaremos á ningún resultado en este sentido si no se procura la instalación de una cantidad de estaciones séismicas de segundo orden con aparatos registradores. Debemos buscar el epicentro de otro modo. Ya sabemos que la región de mayor destrucción ha sido la de San Bartolomé y la de Acala, donde se ca-

yeron en parte los edificios mejor construídos, como por ejemplo, las iglesias. Las grietas indican un movimiento que ha venido del Noreste. Lo mismo encontramos en Chiapa, donde se derrumbó parte de una fuente alta de ladrillo, bastante bien construída. En el Este vemos que en Comitán ya no hubo destrucciones, sólo en una iglesia, la de San Sebastián, que está algo separada de la ciudad, se produjeron cuarteaduras y la caída de algunas cornisas. Al Norte de la región encontramos mayores derrumbes sólo en Teopisca, donde el movimiento parece haber venido del SW. En el Sur no existen poblaciones donde haya mayores destrucciones, sólo en una finca, el Rosario, cerca de la Concordia, he visto destrucciones de paredes y techos. Parece, pues, que la zona de la mayor destrucción queda entre Chiapa-Comitán, y Teopisca-Concordia, como lo hemos indicado en el mapa adjunto. Esta zona tiene una circunstancia muy notable, la de ser muy alargada y muy angosta. Esta forma nos indica desde luego que no es muy probable que el temblor sea de origen volcánico. Es cierto que en esta región existen rocas volcánicas; hay dos centros: el de San Cristóbal Las Casas y el de San Bartolomé de los Llanos. Cerca de San Cristóbal hay dos cerros de material volcánico; el Zontehuitz (2858 m.) y el Hueytepec (2717 m.). Es muy probable que éstos cerros sean los restos destruídos de dos conos volcánicos; esto nos lo indica su aislamiento y su altura, que es mayor que la de cualquier otro cerro de la Mesa Central de Chiapas. El Zontehuitz se compone de andesita de augita y el Hueitepec de andesita de hornblenda. La roca del Mioceno-Plioceno, porque se encuentra ya en acarreo en los conglomerados del Plioceno marino de la mesa entre Teneja-

pa y San Cristóbal. Cerca de San Bartolomé hay tres cerros muy pintorescos que se componen de andesita de hornblenda, el de San Bartolomé y los de Mispilla. Estos tienen una forma algo alargada; el de San Bartolomé y el más meridional de la Mispilla tienen la dirección SSW-NNE, el segundo de la Mispilla la de ESE-WNW, las dos direcciones forman casi un ángulo recto; el cerro de San Bartolomé está casi en la prolongación del meridional de Mispilla. También estos cerros pueden haber sido volcanes antiguos que ahora ya están completamente destruídos; se levantan bruscamente de la llanura de su alrededor; esta llanura consiste en la superficie de capaz horizontales de conglomerados, areniscas, arenas de origen muy moderno, probablemente Pliocénico ó Cuaternario; más al NW. se encuentra Cretáceo Inferior y hacia el SE. Cretáceo Medio. Ni los cerros de San Cristóbal ni los de San Bartolomé indican alguna erupción reciente, no hay probabilidad que ellos hayan dado origen al temblor del 23 de Septiembre. Por la forma tan alargada de la zona de la intensidad mayor podemos hablar apenas de un epicentro, sino que empleamos mejor la expresión recientemente introducida á la literatura seimológica de *línea epicentral;* esta forma indica como causa del temblor el movimiento de los labios de una falla. Veamos ahora si la tectónica de la región apoya esta idea.

No quiero introducir aquí un capítulo sobre la geología del Estado de Chiapas, pero para explicar la tectónica de la región en donde la intensidad del temblor ha sido mayor, debo dar unos datos sobre la constitución geológica de esta parte de Chiapas. Sabido es que el centro del Estado está formado por una alta Mesa Central, la que tiene en el NW. una altura media



Cortes por la Mesa Central al Valle del Río de Chiapas.
(E. Böse, Temblores de Zanatepec.)

de 1200-1500 m. y en el SE. una de 2300-2400 m. El límite entre estas mesas de altura diferente se encuentra al NE. de Chiapa y coincide probablemente, ó mejor dicho, casi seguramente, con una fractura transversal. Esta mesa forma hacia el SW. una pendiente abrupta hacia el ancho valle del Río de Chiapas y su prolongación hacia el NW. En el NW. de la mesa tenemos una sóla pendiente; en el SE. hay generalmente dos escalones, y más adelante todavía más. El valle del río de Chiapas forma en su parte superior, entre Comitán y Chiapa, una especie de llano grande con pocas lomas en la parte oriental, está cortado por numerosas barrancas y arroyos afluentes del río de Chiapas; cerca de Chiapa, el valle se hace más angosto y contiene numerosas lomas. La Mesa Central está formada de calizas de Rudistas del Cretáceo Medio, en lo general en bancos gruesos horizontales, sólo hacia la pendiente abrupta se inclinan las capas fuertemente hacia el valle. El fondo del valle de Chiapa consiste de margas y pizarras con lechos delgados de calizas, poco onduladas, que contienen corales y gasterópodos. Los corales son semejantes á los de San Juan Raya, los gasterópodos pertenecen á un género nuevo; las capas son del Cretáceo Inferior, están cubiertas por las calizas de Rudistas del Cretáceo Medio, lo que se ve muy bien, subiendo de Tuxtla Gutiérrez á la Mesa del Espinal. Se ve claramente que debe haber una fractura, que pone en contacto aquí el Cretáceo Medio lateralmente con el Cretáceo Inferior. Lo mismo se puede observar más hacia el Este, especialmente el modo con que se formó la pendiente abrupta. Los dos cortes adjuntos (véase lám. 1), pueden bien ilustrar esta tectónica. Esta fractura se puede seguir

desde al W. de Tuxtla Gutiérrez hasta Comitán, y probablemente todavía más adelante. Cerca de San Bartolomé de los Llanos, ó mejor dicho de Soyatitán, observamos que no hay solamente una falla, sino un sistema de fallas en escalera, como lo muestra el bosquejo adjunto (véase lám. 1) que no está en escala y servirá solamente para ilustrar la serie de escalones en el terreno producido por fracturas.

Como está demostrado en la Calabria por los estudios de De Lorenzo, tales fracturas en escaleras se prestan mucho para movimientos séismicos. Es muy probable y casi seguro que las fracturas de Soyatitán se continúen todavía hacia el NW., lo que podemos probar en el caso de la fractura principal. En el mapa adjunto vemos que la línea epicentral sigue exactamente á la falla, ó mejor dicho al sistema de fallas que pudimos reconocer cerca de Soyatitán. Es, pues, casi seguro, que el temblor haya sido originado por un movimiento de una ó varias de estas fallas. Con este resultado coincide la circunstancia de que en los dos extremos de la zona de la mayor intensidad hay fracturas transversales, es decir, cerca de Chiapa, (Ixtapa) y cerca de Comitán, de modo que probablemente se movió el block comprendido entre estas dos fracturas transversales. Como el movimiento no ha sido muy fuerte no se ha agrietado el suelo en la superficie.

San Cristóbal no ha sufrido mucho, aunque estaba cerca del epicentro; la causa es que la ciudad se halla en la Mesa Central, que está formada por bancos gruesos y horizontales, de una caliza rígida, de modo que este suelo le sirvió de protección. Comparativamente fué más fuerte el movimiento en San Andrés, Departamento de Chamula; esta población está sobre piza-

rras blandas terciarias que permitían un movimiento más fuerte. De la naturaleza del suelo proviene también que en el Distrito de Juchitán se haya sentido bien fuerte el temblor; allí vino el movimiento casi exactamente del Este y agrietó la parte superior de la Jefatura, que está construída de ladrillo; el suelo consiste de pura arena, que permite un movimiento de todas sus partículas y el sacudimiento de las casas construídas sobre ella.

Las noticias de los temblores que siguieron en los días subsecuentes al temblor principal son todavía más escasas y vagas, que las que pude obtener sobre el primero. De Tabasco vino la noticia que hubo el día 23 de Septiembre otro temblor á las 10.30 p. m., el 24 de Septiembre á la 1 a. m. y á las 4.30 a. m. En Comitán hubo en la noche del 23 al 24 de Septiembre varios temblores débiles; lo mismo me dijeron en todas partes de la zona de mayor intensidad. En Tuxtla Gutiérrez se sintieron temblores todavía el 24 de Septiembre. En Tapanatepec se sintieron 12 temblores más en la noche y dos en la mañana siguiente, en Juchitán cinco en la noche. De Tapanatepec telegrafiaron el día 1? de Octubre, que hubo 11 temblores, acompañados de ruidos subterráneos después del 23 de Septiembre y de Zanatepec escribieron que entre el 23 y el 30 de Septiembre hubo 20 temblores acompañados de ruidos subterráneos, viniendo estos movimientos del Sureste. Estos son todos los datos que tenemos; todos los temblores después del 23 fueron muy ligeros y provinieron seguramente de la misma parte que el primero; es posible que hayan venido algunos también de la zona séismica de Tehuantepec, porque está bastante cerca; pero sin datos exactos no me es posible distinguir á qué

epicentro pertenecen los diferentes movimientos. La indicación de que el movimiento vino del Sureste, que probablemente será el Este, según la dirección que me señalaron en los lugares mismos, nos da el derecho de decir que seguramente la parte de estos movimientos vino del epicentro de San Bartolomé de los Llanos; quizá hubo también movimientos secundarios sobre fallas secundarias, movimientos que fueron originados por el movimiento de la fractura principal, pero sobre esto no puedo acertar nada porque los habitantes de la región ya no se acuerdan de la fecha ni de la hora de los diferentes movimientos.

Los habitantes de Zanatepec creyeron que los temblores fueron producidos en la región de unas lagunas llamadas Sol y Luna sospechando que estas sean cráteres antiguos. He visitado las dos lagunas y he podido comprobar con seguridad que no son de origen volcánico. A continuación doy una reseña de la geología de la región que todavía está casi desconocida.

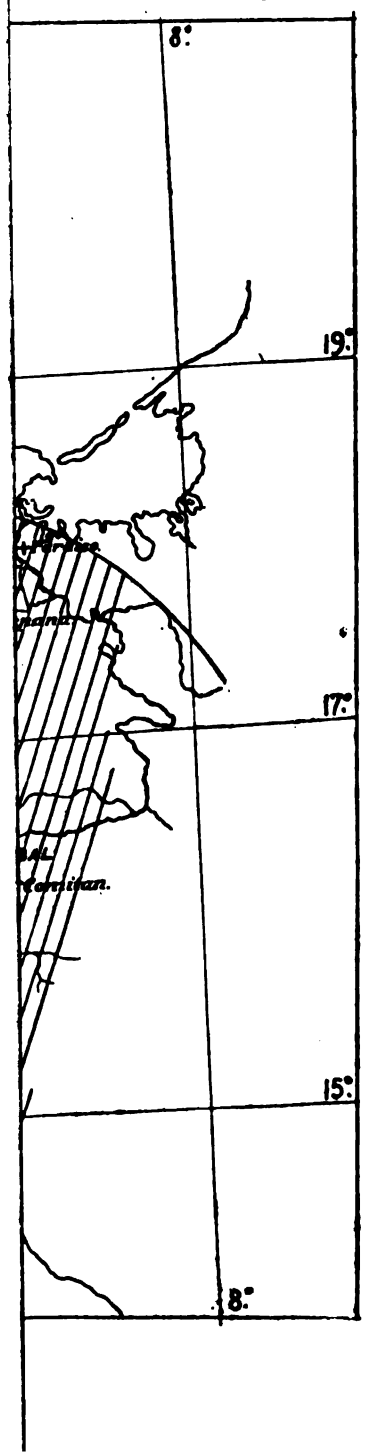
Zanatepec está en aquella zona que pertenece más ó menos íntimamente al Istmo de Tehuantepec. La literatura sobre esta parte del país es muy pequeña y anticuada. Los primeros datos que hay, son de una comisión americana encabezada por J. G. Barnard y J. J. Williams. [1] Más tarde vino otra comisión americana [2] acompañada por una mexicana [3] con el fin de estudiar

1 Barnard and Williams. The Isthmus of Tehuantepec. New York. 1852.

2 Shufeldt, Reports of explorations and surveys to ascertain the practicability of a ship-canal between the Atlantic and Pacific Oceans by the way of the Isthmus of Tehuantepec, Washington. 1872.

3 Barroso, Memoria sobre la geología del Istmo de Tehuantepec. Anales del Ministerio de Fomento de la Rep. Mex. T. III. México. 1880.

Lám. II.



la probabilidad de la construcción de un canal interoceánico en el Istmo de Tehuantepec. Las determinaciones petrográficas de estas comisiones no han sido siempre muy exactas, lo que se explica por la circunstancia de que entonces no se conocían bien las rocas que forman el suelo de México; sobre la tectónica del Istmo no existen ni indicaciones. La dificultad consiste principalmente en la falta de fósiles en las calizas y las pizarras de la región; yo he buscado en vano en varios puntos, para encontrar restos orgánicos. No puedo hasta ahora hacer más que separar las capas petrográficamente y dar unos cortes que he podido observar.

Toda la costa del Pacífico entre Tehuantepec y Tapanatepec parece consistir principalmente de una gran masa de gneiss en muy variadas formas, por la cual pasan en diferentes lugares masas de rocas ígneas; así encontramos cerca de Salina Cruz una granulita, que se utiliza para la construcción del rompeolas del referido puerto; cerca de Niltepec hay diques de serpentina que pasan por las pizarras arcaicas; entre Niltepec y Zanatepec, se encuentra granito en afloramientos aislados.

Sobre el gneiss descansa, por lo general, un sistema de pizarras y areniscas muy metamorfizadas por movimientos orogénicos. Estas capas están cubiertas por una caliza de color azul y gris, á veces en bancos gruesos conteniendo nódulos y riñones de pedernal, á veces apizarrada y muy metamorfizada, impregnada de siliza, pero siempre sin fósiles. Esta caliza forma, en lo general, la primera cresta meridional de la sierra; la observé en el cerro del Cuscumate, cerca de Zanatepec, en los cerros de Masahui, cerca de Juchitán,

y en los cerros cruzados por el ferrocarril ístmico, cerca de San Jerónimo. Allí forma la caliza una cuenca; bajo el ala septentrional de este anticlinal se ve claramente las pizarras arcillosas, que contienen una cantidad grande de mica y las areniscas. Estas pizarras forman toda la mesa de la Chivela. Al Norte de esta mesa se encuentra, cerca de Niza Conejo, una sierra que se levanta bruscamente de la llanura, y aparentemente está separada de las pizarras por una fractura; la sierra consiste de calizas azules con pedernal, el rumbo es N. 80° W., el echado 25-45° S. Debajo de la caliza se encuentra en la mesa de Rincón Antonio, una arenisca gris, hasta gris azúl, á veces también blanquizca; está apizarrado ó en bancos y contiene numerosas intercalaciones de pizarras arcillosas gris, amarilla y colorada.

Hasta ahora no he podido determinar exactamente la edad de estos depósitos, pero creo que por la semejanza de la posición con las rocas de Chiapas, que las pizarras y las calizas pertenecen al Cretáceo; el problema se podría resolver solamente por el hallazgo de fósiles. Muy semejantes encontramos las condiciones cerca de las lagunas de Sol y Luna. Sobre areniscas de color obscuro y pizarras de color rojo, amarillo y gris que tienen un echado casi exactamente hacia el S., llega uno á las lagunas, cuyo borde septentrional consiste de una roca que no es fácil determinar exactamente, pero parece ser el resto de pizarras muy alteradas y descompuestas, al borde meridional de areniscas apizarradas muy metamorfizadas por los movimientos orogénicos. Sobre éstas yace una caliza con bancos gruesos, de color gris, y que contiene mucho pedernal en riñones y nódulos. Las lagunas que son poco

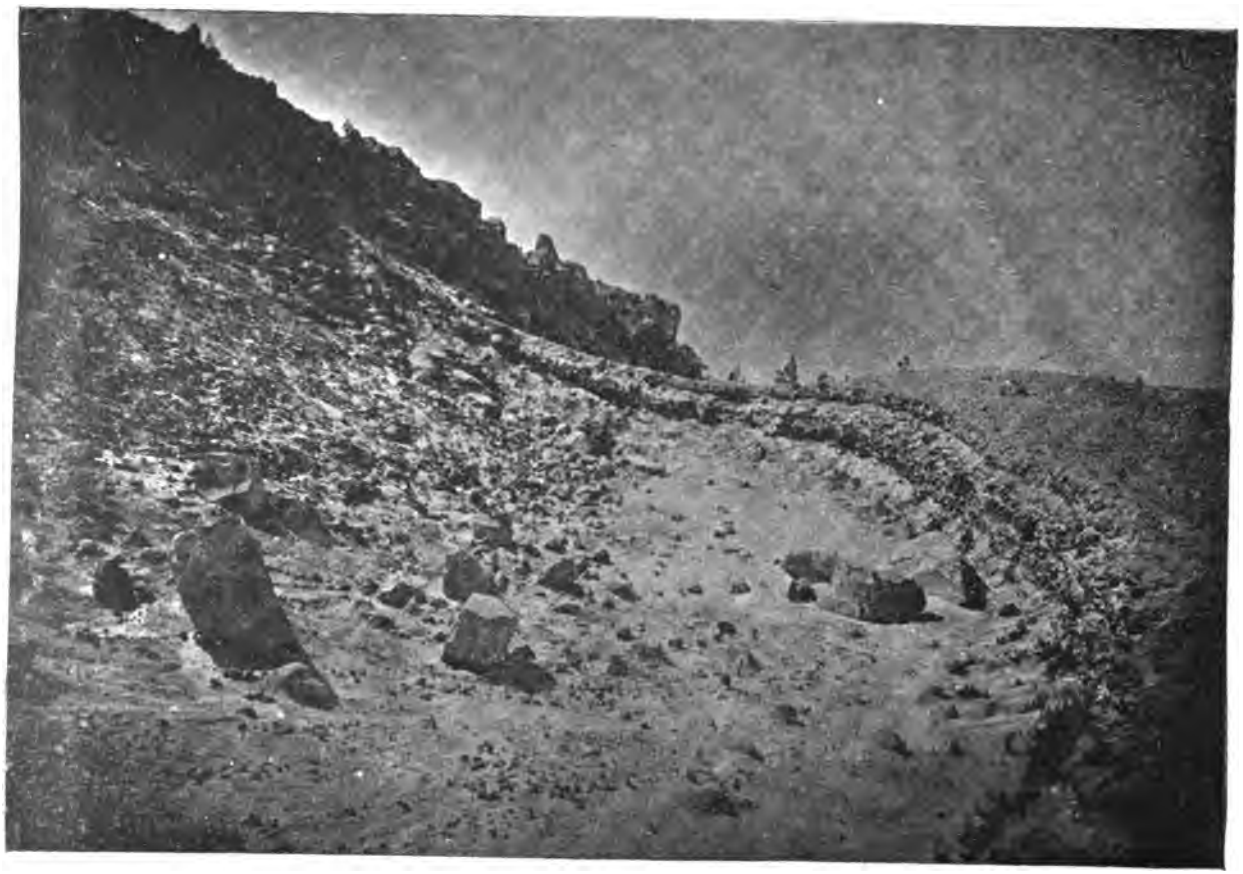
hondas están dentro de la serie de areniscas y pizarras, probablemente estaban ántes unidas. Primeramente no han sido más que los principios de dos cañadas que tenían su salida al Sur, donde está indicada todavía la antigua cañada. En tiempo bastante reciente se cerraron las cañadas por medio de un derrumbe de caliza del cerro Cuscumate, que está al Sur de las lagunas y todavía tiene la laguna grande en este lugar su salida, aunque subterránea. Subiendo á las lomas al Norte de las lagunas, se observa claramente la extensión relativamente grande del derrumbe. Roca volcánica no existe cerca de las lagunas. Estas quedan á la altura de 418 m.

Vemos, pues, que los temblores de Zanatepec fueron de origen tectónico y que tuvieron su epicentro bastante lejos de la región citada. Las lagunas no son de origen volcánico y por esto no presentan ningún peligro para las poblaciones del rededor.

EL VOLCAN DE TACANA.

El volcán de Tacaná forma un punto principal en el límite entre México y Guatemala; según los datos de la comisión de límites, su posición es: 15°08′04″56 de latitud N. y 7°01′42″62 de longitud E. (meridiano de México); según la determinación de la Comisión del Ferrocarril Internacional: 15°07′22″ de latitud N. y 92°06′17″ de longitud W. de Greenwich. La altura es, según la última comisión, 4064 m., según Carlos Sapper 3990 y según mis medidas 3995 m. La base del verdadero volcán queda á la altura de unos 2200 m. sobre

una masa de granito, la que se observa tanto al Norte, al Oeste, al Este, como al Sur del volcán. No me fué posible hacer ningún estudio de la base del volcán, por habérmelo impedido la cantidad de cenizas que cubría el suelo y que generalmente no permitía observar el cambio de la naturaleza de la roca. El granito se observa todavía poco antes de llegar á la garita de Rancho Quemado, una aduana de Guatemala. Al Sur de la población de Tacaná, en la cresta cuyo portezuelo se llama la Trampa del Coyote, empieza á observarse la andesita de hiperstena y hornblenda. La Trampa del Coyote queda al Norte del volcán, lo rodea casi en semicírculo, siendo unido con él sólo por una cresta angosta y rocallosa de andesita; á los dos lados de la cresta bajan cañadas, al Oeste una que pasa abajo de Niquivil, al Este una en la cual queda el pueblo guatemalteco de Sibinal; cerca de este último pueblo se observa el granito que forma la base del volcán. El lugar donde se reune la cresta rocallosa con el cono del volcán se llama la Haciendita; de este punto hasta la cima del cerro no hay ningún cambio de rocas. El cerro no es realmente un cono, porque en tres partes hay una especie de escalón. El primer escalón se encuentra á la altura de 3448 m., estando la Haciendita á 2987 m. Vemos en este lugar una cresta que está separada del resto del volcán por una cañada encorvada. Pasando la cañada angosta se encuentra otra pendiente que sube hasta otro punto que denomino el segundo escalón, y que se halla á 3655 m. de altura; forma una cañada angosta limitada en un lado por la masa principal del volcán, al otro por un peñasco formado por lava andesítica. El fondo de la depresión estaba cubierto por cenizas del volcán de Santa María, pero encontré unos pedazos de pómez de



Cráter adventicio del volcán de Tacaná.

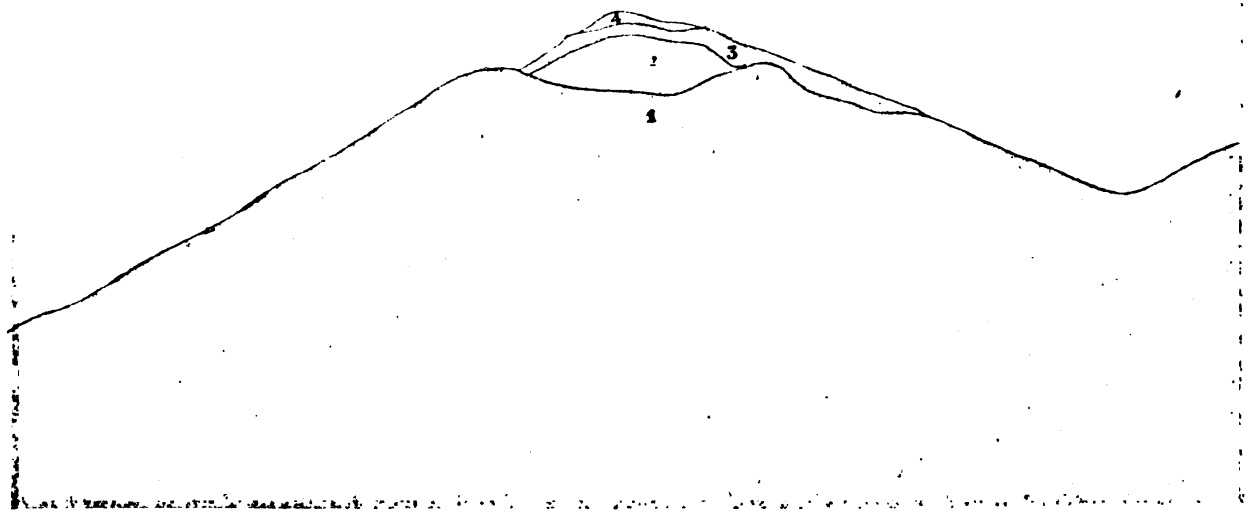
andesita en un lugar donde la ceniza había sido quitada por las lluvias. Esta pómez que está bastante fresca, es probable que haya sido arrojada por el volcán en alguna erupción reciente, quizá por la del año de 1855. Desde este escalón sube la pendiente del volcán de una manera constante hasta la altura de 3872 m. En esta altura hay una cañada poco honda de forma semicircular que encierra más de la mitad septentrional de la cumbre del volcán; está limitada hacia el interior por el último cono del volcán y hacia el exterior por una serie de peñascos de lava andesítica, en su mayor parte con estructura fluidal. El cono principal tiene en su punta la altura de 3995 m. Este último cono consiste de pedruscos de lava y de restos de corrientes. Tanto hacia el N. como hacia el S., bajan desde el último escalón (3872 m.) barrancas no muy profundas, pero cuyo fondo tiene una pendiente bien fuerte. En estas barrancas se encuentran masas poco considerables de brechas volcánicas que seguramente provienen de erupciones recientes.

La cima del cono muestra pequeños agujeros en forma de embudos y un pequeño circo de lava más ó menos á las tres cuartas partes de su altura hacia el S. Más abajo hacia el SW. hay á la altura de 3804 m. un pequeño cráter de forma elíptica, de unos 50 m. de longitud y de 5 m. de profundidad; su borde consiste de brechas volcánicas. Este pequeño cráter está en el flanco del volcán, de modo que solamente el borde exterior está bien pronunciado, como se ve en la fotografía adjunta (véase lám. 3). Hace poco que este cráter exhalaba todavía mucho ácido sulfuroso y que emanaban de él pequeñas corrientes de agua azufrosa; hoy se siente apenas un ligero olor de aquel gas; agua ya

no existe. Aberturas en forma de embudo hay todavía más abajo, también exhalan ácido sulfuroso en pequeña cantidad. Arriba del cráter se encuentran grandes acantilados de unos 150m. de altura. Encima de éstos hay una pequeña cinta, en la cual se encuentran agujeros de 10 á 30 centímetros de diámetro, que hasta hace poco exhalaban ácido sulfuroso; ahora ya no se siente nada.

De la descripción anterior vemos que el volcán de Tacaná actualmente no tiene ningún cráter principal, sino que su cima está formada por un cono en cuya cúspide está el monumento de límites. Hay que considerar como un cráter antiguo el tercer escalón (3872 m.) que todavía conserva la forma circular; el cono que queda en el interior de este cráter representa el tapón, la lava enfriada que se levantó sobre el orificio de la chimenea. Este cráter debe ser muy antiguo, porque con toda seguridad la circunvalación ha perdido mucho ya en altura, lo que se puede concluir de las masas de pedruscos que se encuentran en los flancos del cerro. Las mazas de brechas que se hallan en dos puntos de los flancos, seguramente no provienen de este cráter, sino de erupciones pequeñas que se produjeron en los flancos del volcán y que son de una fecha relativamente reciente. Según las noticias que he podido recoger, hubo en el año de 1855 una erupción en la cúspide del volcán ó cerca, quizá salían las cenizas y humo de los agujeros de forma de embudo, que se encuentran en el cono más alto. La erupción ha sido de muy poca importancia. Se refiere también que hubo una erupción el año de 1878. de la cual se sabe únicamente al Sur del volcán, mientras que en Tacaná es desconocida. Según el señor Ingeniero Mendizábal Tamborrel, que estuvo allí en

VOLCAN DE TACANÁ.



1, 2 y 3, restos de cráteres antiguos; 4, tapón.

Fig. 1 y 2. Vistas de cráteres antiguos sobre el lado

[illegible] vía
[illegible] pe-
[illegible] grandes
[illegible] lo éstos
[illegible] agu-
hasta ha-
[illegible] no se sien-

[illegible] el volcán de
[illegible] ater principal,
[illegible] no en cuya cús-
[illegible] que considerar
[illegible] (3,572 m.) que
[illegible] como [illegible] e queda
[illegible] la lava
[illegible] chimenea.
[illegible] son toda segu-
[illegible] ya en altura,
[illegible] pedruscos que
[illegible] nevas de
[illegible] tificios, se-
[illegible] sino de erupcio-
[illegible] s flancos del vol-
[illegible] ente reciente. Se-
[illegible] hubo en el año
[illegible] del volcán ó cer-
[illegible] eros de
[illegible] como mas
[illegible] de
[illegible] no de
[illegible] Sur del volcán,
[illegible] da. Segun el señor
[illegible], que estuvo allí en

Volcán de Tacaná.

esos años, no hubo tal erupción. En Unión Juárez y Tapachula me contaron que salió humo y ceniza de la parte superior del volcán en el lado Sur. En una erupción muy reciente se ha hecho también el pequeño cráter que hemos encontrado al Sur; este debe haberse formado por una explosión; lavas no han salido de él, el borde está formado por puras brechas volcánicas. Este cráter es como los de la cima, un cráter adventicio que no tiene que ver nada con la construcción del volcán mismo. El verdadero cono consiste solamente de lavas y el cráter más antiguo del cono es el que nos indica todavía el primer escalón; después se formó otro cráter, del cual queda una parte del borde en el segundo escalón y por fin se formó el tercero y último cráter que tomó parte en la construcción del volcán y es él que hemos denominado el tercer escalón; dentro de éste se levantó el cono final. Se ve en la fotografía adjunta (lám. 4), claramente la sucesión de los tres cráteres, é indicados los tres atrios. Probablemente fué el primer período de erupciones el más fuerte, los que siguieron ya no pudieron más que levantar nuevos cráteres dentro de los antiguos, que con el enfriamiento dejaron anillos, hudiéndose parcialmente la lava en su centro. Tenemos un ejemplo de semejantes volcanes cerca de México, y es el Ajusco, que enseña solamente un anillo, como lo demuestra la ilustración dada por el Sr. Ordóñez en su reciente trabajo "Le Xinantecatl ou Volcan Nevado de Toluca," Mem. Soc. Alzate, T. XVIII, 1902. pág. 106.

Todo el volcán consiste de andesita de hiperstena y hornblenda; no hay en ninguna parte variaciones mayores en el carácter de la roca.

Vemos de la descripción anterior que el volcán Ta-

caná se parece en todo á un volcán apagado ó dormido; no se puede decir todavía qué sea un volcán extinguido, porque sus últimas erupciones son de fecha muy reciente y sabemos que aunque hubiesen sido más antiguas, no se puede fácilmente decir que un volcán está extinguido, porque conocemos ejemplos que un volcán que ha dormido durante varios siglos, como el Vesubio, ha hecho después formidables erupciones. No podemos decir, pues, que el volcán sea extinguido, pero sí que está por ahora apagado. Si el volcán hiciera de nuevo una erupción, la anunciaría probablemente, por lo menos unos quince días antes. Es verdad que, según las descripciones de Carlos Sapper (Centralbl. f. Min. Geol. u. Pal. 1903, pág. 38), no ha habido anuncios en la erupción del volcán de Sta. María, el día 24 de Octubre de 1902, más que el día mismo, pero esto es realmente una excepción. Generalmente hay las señales siguientes: temblores con fuertes ruidos subterráneos que en lo general no se sienten á muy grandes distancias, pero provienen claramente de la dirección del volcán; estos temblores son á veces muy fuertes, á veces muy ligeros, pero siempre muy seguidos. Los ruidos son una especie de gruñidos subterráneos y detonaciones. Los arroyos, las lagunas, etc., en el cerro, se secan, aparecen manantiales termales y arroyos de fango; las plantas se secan frecuentemente cerca del lugar de la futura erupción y el verdadero comienzo de ésta se demuestra por la formación de grietas que se abren en el cerro, por exhalaciones de humo y vapores, á veces por eyección de arena y ceniza.

Me he quedado varios días y noches en las faldas y en la cúspide del volcán de Tacaná, he atravesado sus flancos en varias partes, pero no he podido obser-

var alguna de las señales citadas, tampoco me han podido dar noticias los indígenas que viven en la falda del mismo cerro. Por esto puedo juzgar que, por lo tanto, no hay peligro de erupción. He tratado de tranquilizar á la gente y enseñar á las autoridades tanto del lado guatemalteco como del mexicano, cuáles son las señales precursoras de una erupción.

También he indicado al señor Jefe Político de Motocintla que muchos ranchos y varias poblaciones, especialmente las de Amatenango y Mazapa, tienen el riesgo de ser sepultadas debajo de las avalanchas de cenizas caídas el 24 y 25 de Octubre de 1902, que bajarán cuando comiencen las lluvias del tiempo de aguas y he aconsejado al señor Jefe Político que traslade los habitantes de las poblaciones á regiones no amenazadas por avalanchas de ceniza y que avise á los habitantes de los ranchos.

Las páginas anteriores no son más que un corto resumen de los resultados de mi viaje en lo que se relacionan con el tema que me fué dado por el señor Secretario de Fomento. El estudio definitivo, especialmente de la geología del Norte de Chiapas, formará el contenido de un Boletín, que publicará el Instituto Geológico.

México, Mayo de 1903.

Dr. Emilio Böse.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NÚM. 2.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NÚM. 2.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

FISIOGRAFÍA, GEOLOGÍA É HIDROGRAFÍA

DE LOS

ALREDEDORES DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA,

POR

E. ANGERMANN, DR. PHIL.

EL AREA CUBIERTA POR LA CENIZA DEL VOLCAN DE SANTA MARIA.

OCTUBRE DE 1902,

POR

EMILIO BÖSE, DR. PHIL.

MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO.

Calle de San Andrés número 15.

1904

INFORME

ACERCA DE LA

FISIOGRAFIA, GEOLOGIA E HIDROLOGIA

DE LOS

ALREDEDORES DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA,

POR ERNESTO ANGERMANN, DR. PHIL.

Literatura principal:

Eisen (Gustav).—Exploration in the Cape Region of Baja California in 1894, with references to former expeditions of the California Academy of Science.—*Proc. Cal. Ac. Sc.*, 2d.s. V. pág. 733-775, 5 lám.

Tengo la honra de presentar los resultados científicos y prácticos de mis estudios, que hice en el mes de Septiembre del año próximo pasado, en los alrededores de La Paz, Distrito Sur de la Baja California. Como se trata de una región científicamente todavía desconocida, no se debe considerar este informe como un estudio perfecto y concluído, sino como una tentativa para aclarar las condiciones geográficas, geológicas é hidrológicas de la mencionada región, tanto cuanto me lo permitieron las circunstancias, que fueron muy favorables. Por una irregularidad de los correos no obtuve el ma-

pa bastante detallado y exacto, que la dirección del Instituto Geológico se sirvió mandarme desde luego. Así, estaba yo reducido al uso de un mapa ferrocarrilero de la Guía Oficial, muy incompleto, y á las indicaciones que obtuve en la población. Siempre mis excursiones me permitieron formarme una idea de la configuración topográfica del terreno, que rectifica en algunos puntos el mapa, compilado por G. Eisen y F. H. Vaslit.

El tiempo lluvioso, algo extraño en esa península, proverbialmente seca, me facilitó en mucho el viaje, proporcionando la pastura necesaria á mis animales. Pero también se me dificultaron bastante las excursiones en la Sierra. Al fin tengo que limitarme en este informe á una descripción petrográfica incompleta y preliminar de las rocas, cuya mayoría no ha llegado todavía á ésta.

Fisiografia.

La región visitada por mí está situada entre 23° 50′ L. N. á 24° 10′ y entre 10° 50′ y 11° 25′ al W. del meridiano de la Ciudad de México. Pertenece al Distrito Sur de la Baja California, y contiene fuera de la cabecera La Paz, las Municipalidades de Todos Santos (puerto), San Antonio, el Mineral del Triunfo (Mun. de San Antonio), y muchas rancherías. Está limitada al E. y al NE. por las aguas del Golfo de California, al S. se levanta la sierra dominante de la Aguja, con sus anexos orientales, y hacia el Poniente se extiende la playa monótona del Pacífico. La altura geográfica de La Paz significa la línea limítrofe en el NW.

Orográficamente se distingue la sierra alta, las mesas bajas y la depresión. La montaña alta ocupa la parte oriental, tiene el rumbo general de N. 25 W., paralela á la costa. Sus prominencias principales se levantan hasta 1,400 m. de altura, mientras su falda oriental se sumerge en muchas partes inmediatamente en las aguas del Golfo de California, y causa la línea quebrada y torcida, que forma esta costa pintoresca. Una sola vez se retiran los cerros del Golfo y dejan una ancha planicie llamada *llano de Tecuán*. Islas (Cerralbo y Espíritu Santo), arrecifes y rocas aisladas, que se extienden delante de ella, indican que el borde terrestre original está invadido por el mar. Esta montaña que ocupa más de la tercera parte de nuestro terreno, se compone de dos sierras paralelas. La sierra que corre inmediatamente por la costa, tiene su prominencia más elevada en los picachos, que se llaman los "Dos Soldados" (cerca de 1,400 m.). Representa una unidad topográfica, extendiéndose desde la isla del Espíritu Santo hasta cerca de Triunfo, donde se reune con la montaña de San Antonio. La otra sierra, que llaman la de San Pedro, está situada al E. de dicho rancho; tiene menor extensión, pero una altura considerable (cerca de 800 m.). Fuera de estas dos sierras paralelas, existe todavía un grupo de elevaciones al S. de La Paz, que llama la atención por sus formas monoclinas. Tiene una altura media de 250 m.

La mesa baja.—Por toda la costa del Pacífico se extiende un elemento orográfico muy curioso. Lo hemos significado como "mesa baja," puesto que representa en lo general una elevación uniforme de 200 m. á 300 m. por término medio que forma al E. la margen occiden-

tal de la depresión, de la cual hablaremos después, y baja con suave declive á una playa estéril y melancólica. Los indígenas llaman esta formación "Los Cuchillos," y en verdad consiste en una serie de lomitas, poco marcadas de dos direcciones distintas. Estos cuchillos forman casi un dique ancho contra las olas de la brava mar, que amenaza el país bajo.

La depresión.—Entre las elevaciones, que acabamos de describir, se extiende un país bajo, con bordes bien marcados, al E. y W. Es una lengua de terreno arenoso y casi plano, extendiéndose desde el S. hacia el N. Generalmente hablando, esta depresión alcanza, desde La Paz hasta Todos Santos, relativamente angosto (1,500 m.), subiendo suavemente desde el nivel del mar, hasta la altura geográfica del Carrizal (An. 175). Aquí existe una línea divisoria, poco marcada y muy torcida por las aguas superficiales, que divide las aguas del Pacífico de las de la bahía de La Paz. Hay que hacer observar, que por causas que referiré después, dicha depresión no está siempre claramente marcada, pero se la puede justificar no solamente desde el punto de vista orográfico, sino también (y mucho mejor), geológico. Esta depresión será, por supuesto, el lugar que se estudiará más, cuando se trate después de la posibilidad ó probabilidad de encontrar aguas artesianas. No es posible emitir un juicio sobre este asunto final, sin un reconocimiento geológico del terreno en cuestión y de sus alrededores.

GEOLOGIA.

a.—Estratigrafía.

Las siguientes rocas toman parte en la formación de nuestra región:

Rocas plutónicas de la familia de los granitos.
Gneisses, pizarras micáceas y filitas.
Dioritas y rocas de anfibolitas.
Rocas volcánicas terciarias.
Areniscas de la época Pleistocena.
Estratas cuaternarias.

Rocas de la familia de los granitos.

La formación granítica representa el fundamento de esta parte de la península. Observé diversas variedades de granitos, cuya descripción petrográfica se hará tan luego como las muestras hayan llegado. En lo general, el granito parece alterado en su estructura por una alta presión. Procedimientos, de que hablaremos después, lo han plegado ligeramente, de suerte que forma ahora anticlinales y sinclinales con la dirección N. 30 W., ó N. 60 E.

Gneisses, Pizarras micáceas y filitas.

Este grupo viene por encima de los granitos. Lo observé en los alrededores de Todos Santos, en los del Triunfo, de San Antonio, en el valle del Salto á Los Pozos, y en fin, cerca de la Huerta. Probablemente son restos de una formación que fué antes mucho más potente.

Su potencia actual no pasará de 50 m. Se encuentra esta formación exclusivamente en los sinclinales del granito, á cuyo plegamiento fué sujetada al mismo tiempo.

La descripción petrográfica seguirá en otro lugar. Vetas de calizas cristalinas arman en las pizarras cerca del rancho Las Calabazas y en otros puntos.

Dioritas y rocas de anfibolitas.

Estas rocas aparecen como intrusiones ó diques en los granitos y pizarras. Son de una edad desconocida. Su ocurrencia dió probablemente motivo á la existencia de las vetas argentíferas del Triunfo.

Rocas volcánicas terciarias.

Se pueden distinguir dos modificaciones físicas y otra mecánica; aparentemente se encontró nuestro terreno en un movimiento intermitente de ascenso y descenso, cuando salió el magma rhyolítico, produciendo las rocas de esta formación. Así se formaron estratas de una roca rhyolítica muy dura, cuando el magma salía y se enfriaba encima del nivel del mar. Luego bajó el terreno y el magma, saliendo abajo del nivel de las aguas, se solidificaba en forma de piedra pómez y tobas. Luego ascendió el suelo y las capas recientemente formadas fueron atacadas por las aguas terrestres, por cuya actividad se explican los bancos de brechas, intercalados en toda la serie. Esta formación está limitada á los alrededores de La Paz. Su potencia pasa de 200 m.

Rocas de la Epoca Pleistocena.

En las Cacachilas se encuentran hasta una altura de 600 m. sobre el nivel del mar, bancos de arena, solidificados por sílice. Yacen sobre el fundamento granítico, y los considero como playas antiguas. Contienen numerosos fósiles, Ostreas, Pectenes y Gastrópodos. El Sr. Aguilera tuvo la bondad de clasificar provisionalmente una Fasciolaria como *Fasciolaria Princeps, Lam.*

Existen en varios puntos de nuestro terreno depósitos que considero tanto por su composición mineralógica, como por su grado de solidificación, y por su posición, como formados en la misma época, es decir, durante ó poco después del último ascenso de esta parte de la península.

La formación cuaternaria.

Bajo esta expresión resumo todos los depósitos, que se formaron, cuando los últimos procedimientos tectónicos observables terminaron, y cuando la configuración del terreno hubo tomado ya el aspecto general actual.

b.—Tectónica.

Al acercarse á la costa acantilada de La Paz, se observan en una altura de 50 m. y más, los rasgos de la actividad del mar, tallada en las rocas terciarias, de la costa, y si se sube á cualquiera cumbre de la sierra al-

ta granítica, se encuentran playas ahora secas y destruídas á alturas de más de 600 m., con restos de conchas de una época muy moderna. Existe con este hecho la prueba incontestable de que las montañas graníticas, las de Las Cacachilas y de la Aguja, con sus conexos orográficos, estaban cubiertas por las aguas del Pacífico ó apenas sobresalían solamente de la superficie del mar con las cumbres más altas. Las fuerzas enormes, que forman las sierras, levantaron en un espacio de tiempo relativamente corto, y en una época geológica inmediatamente precursora á la nuestra, la parte meridional de la península, centenas de metros. Supongo dos centros de estas fuerzas, cuyo sitio puede ser considerado como debajo de las prominencias orográficas más altas de las montañas levantadas, es decir por debajo de las prominencias orográficas de Los Dos Soldados, al E., y por debajo de la sierra de La Aguja al S. El levantamiento fué aparentemente simultáneo. Estas fuerzas sincrónicas obraron de una manera bien visible en la configuración del terreno. No fueron iguales en todos puntos, de suerte que tanto el fundamento granítico, como las formaciones sobrepuestas, sufrieron dislocaciones ó plegaduras, según su estructura y dureza, y su situación respecto á las fuerzas geológicas ó respecto á las demás capas. Claramente se observa en las direcciones de las fallas y de los pliegues, dos rumbos dominantes, es decir, N. 30 W. y N. 60 E. Estas direcciones corresponden respectivamente á los dos sistemas de fuerzas antes mencionadas. Estas fuerzas simultáneas y laterales plegaron ligeramente el fundamento granítico, y las pizarras sobrepuestas, partieron el terciario en pedazos rectangulares, y plagaron ó quebraron el

pleistoceno también. El croquis adjunto muestra las fallas.

Todo se hizo por el levantamiento parcial del asiento granítico de esta parte de la península, que tenía su máximum al E. (Cacachilas), y al S. (La Aguja). Parece que la sierrita de Los Cuchillos desempeñaba el papel de contrafuerte, pues aparentemente resistió á la enorme doble presión. Así se explican las fracturas por toda su extensión, y así se explican sus elementos orográficos. Son lomitas de dos rumbos, que se cruzan, y que corresponden bastante bien á los pliegues perpendiculares á la fuerza de presión lateral. Así sucede lógicamente, que en los cuchillos meridionales prevalecen por su altura y número los pliegues. Aguja del rumbo ENE., correspondiendo á la influencia tectónica desde SSE., mientras en los Cuchillos septentrionales dominan los pliegues Cacachilas, del rumbo NNW., correspondiendo á la presión, que partió desde ENE. Como los descubrimientos de las capas en los Cuchillos son muy escasos, mis observaciones son incompletas. Pero creo haber podido observar algunas dislocaciones pequeñas en los mismos Cuchillos, que las considero como consecuencias de una tensión exagerada. Lo que me indica la existencia de estas fallas, son ciertas filas de piedras de acarreo, que siguiendo en lo general el rumbo de los dos sistemas de líneas de fracturas, aparecen de repente en uno y otro lomo (Cuchillo), para desaparecer del mismo modo poco después.

En resumen, diría, que nuestra región, emergida del mar, hace relativamente poco tiempo, era la escena de movimientos geológicos enérgicos, que quizá todavía no han acabado de existir, como la misma formación caternaria parece ser influida por ellos.

HIDROLOGIA.

Antes de hablar de las condiciones hidrográficas, conviene decir unas palabras acerca de las condiciones climatéricas de nuestra región, sobre todo acerca de la cantidad de lluvias anuales, que forman el origen de toda el agua terrestre. No existen todavía datos estadísticos sobre los factores, que influyen en el clima de esta parte de la península de la Baja California. Estoy restringido á las observaciones, hechas en varios años por G. Eisen, y á las pocas noticias, que me dió la gente. Eisen construyó también el primer mapa sobre la distribución de las lluvias.

Adjunto uno trazado por mí, que puede, quizá, rectificar el primero en algo. Mis informes se fundan en observaciones hechas durante diez años por el Sr. Ing. Schnabl, residente en La Paz. Seguro es, que las lluvias en la región del Cabo, son mucho más abundantes y regulares que en cualquiera otra parte de la península. Las lluvias de verano, que se pueden considerar como prolongaciones extremas hacia el N. de las tropicales, empiezan en el mes de Julio ó Agosto, y duran hasta Octubre ó Noviembre. Diciembre es seco, pero en Enero pueden ocurrir otras precipitaciones, causadas por las prolongaciones de los ciclones de Alaska (véase Eisen). Los vientos que traen principalmente lluvias, soplan desde SW. y SE. Las regiones de la mayor precipitación atmosférica coinciden con las regiones más elevadas, es decir, con las montañas, pero prescindo de cifras. El factor que consume las aguas precipitadas en primer lugar, es la evaporación, que absorbe una canti-

dad muy considerable de las partes planas ó poco inclinadas.

En la sierra de La Aguja las aguas están detenidas por la vegetación arbórea y tienen así tiempo de entrar en el suelo. Pero en las sierras desmontadas de San Pedro y de las Cacachilas, falta esta condición benéfica, y las aguas llegan muy pronto al mar, sin haber podido entrar en el suelo. La roca granítica desnuda tiene poca facultad de absorber las aguas llovedizas, y no es propicia para devolverlas poco á poco, formando fuentes. Así sucede que nuestro terreno no tiene más que un solo arroyo permanente, que es el de Todos Santos. Nace en la formación de gneisses y pizarras, provistas con muchas grietas y fisuras, que almacenan las aguas. Esta observación es general, y se refiere por eso también á los arroyos de San Antonio, de El Oro, del Triunfo y de La Huerta, que son permanentes, en tanto que corren en un lecho pizarroso. Pero estos arroyos desembocan al fin en un terreno de acarreo, poderoso y sumamente permeable, se ramifican y se infiltran, hasta llegar al mar. El curso meándrico de las aguas superficiales de la depresión está acondicionado por la configuración del suelo. Esta configuración tiene su explicación en la historia geológico-tectónica de la región. Recordemos, que los movimientos ascendentes de las sierras vecinas han plegado ligeramente las capas pleistocénicas y hasta post-pleistocénicas, formando los sistemas de ondas de terreno, que se cruzan en los sentidos N 30 W, respectivamente N 60 E. Las aguas siguen los sinclinales de un sistema y rompen en puntos de cruzamiento de dos anticlinales, el más bajo de éstos, para seguir por ejemplo un sinclinal del otro sistema. De esto resulta el curso meándrico de los arroyos.

Las aguas subterráneas se encuentran en condiciones análogas. Para formarse una idea de éstas, fueron tomadas las alturas barométricas de los ranchos, y las profundidades de sus pozos, á fin de informarse sobre la extensión, rumbo y echado de las capas acuíferas de la depresión. Como estaba restringido á las indicaciones de la gente, poco exactas, las cifras notadas en el croquis, no tienen un valor absoluto. Lo que sorprende, son las profundidades bastante variables de pozos muy cercanos. Si se abstrae de los pozos hechos en el fundamento granítico (Ciruelón, Tres Pachitas), que no explotan una capa acuífera, sino solamente agua de infiltración y de colección, y se consideran solamente pozos, que se alimentan de una capa acuífera, se puede observar á veces en pozos muy cercanos una diferencia muy notable en la profundidad. Como se trata siempre, según las indicaciones de la gente, de la misma capa acuífera, es decir, de la más superficial, que se explota, se explica este hecho lo mejor por la suposición de las capas ligeramente plegadas. (Fig. 1.) Esta suposición de las capas pleistocénicas, que contienen el agua, están plegadas, estando el cuaternario encima, de una manera discordante, se comprueba por la siguiente observación:

Fig. 2.) La localidad está muy cerca de la Vinetería. Un arroyo A B corre desde ENE. hacia WSW., siguiendo un pliegue-aguja, y corta un ligero pliegue-Cacachilas. El ranchero, convencido de la existencia de agua en este punto, por la existencia de un palmar, suponía que las aguas corriesen en cierta profundidad debajo de la superficie del lecho arenoso del arroyo, que muy pocas veces tiene agua. El pozo P dió un resultado,

dando agua en una profundidad de 4 m. El pozo P′ en en el mismo lecho, pero unos cien metros más abajo, no dió resultado. El descubrimiento en el terreno ofreció una explicación bien clara: Las aguas del pozo P vienen de La Aguja, siguen subterráneamente en un sinclinal del sistema Cacachilas desde SSE. al NNW. El pozo P′, se encuentra en un anticlinal del mismo sistema, y no produce por eso agua. El lecho del arroyo está completamente seco. Lo mismo observé cerca del Carrizal, y en unos cuantos otros puntos de la depresión. Para generalizar estas observaciones diría: Las capas pleistocénicas de la depresión ofrecen teóricamente una perspectiva buena para encontrar aguas artesianas. Estas capas se componen de capas arenosas ó de areniscas poco solidificadas (capas permeables ó acuíferas), y de capas arcillosas-calichosas (capas impermeables), que soportan el agua. Las aguas que vienen de las Cacachilas corren en los sinclinales del sistema Aguja, hacia el Pacífico, las que vienen de La Aguja corren en los sinclinales del sistema Cacachilas, hacia la bahía de La Paz. Seguramente hay puntos de cruzamiento de los pliegues de los dos sistemas, como en el rancho Aguajito, cerca de Tres Pachitas, y probablemente en el rancho Lagunillas, donde siempre hay una acumulación de agua por un estancamiento en la circulación de las aguas subterráneas. En estos puntos se observa una humedad permanente del suelo.

Las siguientes indicaciones servirán como resumen de la explotación de las capas acuíferas del Pleistoceno:

1.—Hay que buscar los sinclinales de los sistemas, que en muchas partes son visibles.

2.—Probable es, que el sistema-Cacachilas lleva más agua, como desagüe de la sierra más lluviosa, la de La Aguja.

3.—Los sinclinales llevarán tanta más agua, cuanto más grandes sean sus dimensiones.

4.—En los puntos de cruzamiento existe la mejor perspectiva.

5.—Refiriéndome á los terrenos del Dr. Cota, situados en la orilla de la bahía de La Paz, opino que los terrenos del Zacatal, tienen teóricamente buena perspectiva, pues están situados sobre un sinclinal largo y ancho de sistema-Cacachilas. El Sr. Taylor había empezado un pozo en este mismo rancho, unos 800 m. distante de la playa. (Adjunto un perfil del pozo. Fig. 3.) Cuando salí de la península (Octubre 19), el pozo tenía una profundidad de 65 m. Se habían encontrado ya dos capas acuíferas, la primera á 30 ctm., la segunda á 30 m. de profundidad. El agua de la segunda capa ascendió á 3 m., contados desde la superficie. Considero las capas hasta el segundo horizonte de agua como cuaternarias, y desde aquí como pleistocenas. Sobre la posibilidad ó probabilidad, de encontrar agua artesiana en este pozo, diremos lo siguiente:

La condición fundamental para la existencia de aguas artesianas, es que el agua de una capa acuífera esté encerrada entre dos capas impermeables, bajo una presión suficiente, para ascender en un pozo hasta la superficie.

No logré averiguar exactamente la potencia del pleistoceno, mas la estimo como 50 á 80 m. Consiste de areniscas estratificadas y en arcillas arenosas alternantes. Las areniscas parecen dominar en la profundidad. De

las dos capas acuíferas, que fueron perforadas, la primera consiste en un caliche arenoso no solidificado; la segunda en una capa arenosa de 30 ctm. de espesor. La idea de proseguir el trabajo era encontrar una capa arenosa y poderosa en la profundidad, con agua bajo una presión suficiente.

Esta esperanza está bien justificada en lo general, respecto á capas cuaternarias. Pero la calidad de las rocas y la existencia del segundo horizonte de agua, me hacen opinar que el cuaternario se acabe á 30 m. de profundidad, y desde aquí los trabajos se encuentran ya en el pleistoceno. Aquí es poca la perspectiva, de encontrar capas de arena todavía no solidificada, pues se trata de rocas ya de alguna profundidad y edad. Parece que las arenas ya están alteradas en areniscas, que no tienen agua, como muestra el experimento. Hace poco que recibí una carta de parte del Sr. Taylor, y me dice: "He alcanzado ahora la profundidad de casi 100 m. y no he encontrado agua. Las capas tienen cerca de 2 m. de espesor, son arcillas y areniscas grises, de grano fino, alternantes. La última capa, donde estoy trabajando ahora, es una arcilla gris, que da al agua una notable cantidad de ácido. También observo un aumento bien marcado de la temperatura. No hay duda, que me encuentro en el pleistoceno y estoy convencido, que el cambio de la formación geológica ocurrió en el segundo horizonte de agua."

No puedo garantizar la exactitud de estos datos interesantes, ni tengo una explicación suficiente para la presencia y naturaleza del ácido mencionado. Además, el taladro usado por Taylor, no está apropiado á dar un perfil perfecto de las capas perforadas; las mues-

tras de roca sacadas por la máquina, llegan á la superficie en un estado completamente pulverizado, de suerte que se pueden conocer los minerales componentes, pero no el modo de agrupación. Como el terciario se distingue del pleistoceno, á veces solamente por la solidificación diferente de los mismos minerales, en nuestro caso es muy fácil que el taladro ya ha alcanzado las capas terciarias. En esta formación se pueden esperar con seguridad muchas fallas, por las cuales el agua se pierda. El terciario tendrá hasta 200 m. de potencia y no ofrece casi ninguna perspectiva. Después de haber perforado esta formación improductiva, se mejorarán las perspectivas; el perforador llegará, sea directamente al fundamento granítico, ó sea después de haber perforado una formación de pizarras y gneisses. El grupo de las pizarras producirá ya agua, pero más se obtendrá, si se llega al granito. Aquí es una profundidad de cerca de 400 m. respectivamente, de cerca de 200 m. (en caso de que faltara la formación terciaria), se encontrarán las últimas aguas disponibles. La presión será suficiente, para que suba el agua á la superficie, como que llega de la sierra alta de la Aguja. Otra cuestión es, si la cantidad es suficiente. Como ya hemos dicho, depende la cantidad del agua artesiana de la cantidad de las lluvias que caen, donde afloran las capas, que sostienen el agua. Pero como no existen ningunos datos estadísticos sobre este asunto, el éxito queda siempre dudoso. Por eso, en caso de que este pozo no diera agua, existe para cualquier punto de la depresión menos perspectiva. Pues las potencias de las capas acuíferas se disminuyen hacia la sierra, y á la vez las aguas aquí están distribuídas, todavía en hilos delgados, que co-

rren hacia un canal colector. Los terrenos de Zacatecas tienen menos perspectiva; las fallas que los circundan, no solamente cortan las aguas, sino dejan entrar las aguas saladas de la bahía. Pero de mucho interés práctico para nuestra región sería continuar el pozo del Sr. Taylor hasta el granito.

Este trabajo, no demasiado costoso, aclararía de una vez las condiciones hidrográficas subterráneas de la región.

6.—Existen en la depresión, generalmente ondulada, planos perfectos del Cuaternario. Supongo que el Cuaternario descansa discordantemente sobre el Pleistoceno. No se pueden distinguir sinclinales y anticlinales de esta formación y es cosa de experimentos el encontrar los puntos propios para los pozos artesianos.

Todas estas indicaciones se refieren á la formación pleistocénica; consideremos brevemente las demás rocas y formaciones.

El grupo de las Dioritas y Granitos, etc.—Las rocas de este grupo pueden ser consideradas como impermeables y en lo general están sin agua. Pero el granito en nuestra región está ligeramente plegado por la enorme presión tectónica, y ordinariamente está descompuesto en la superficie hasta 30 m. de profundidad. El agua se une en los sinclinales y circula en la capa de arena de desagregación, protegida así de la evaporación. El granito está penetrado por diques de Diorita, vetas de cuarzo, etc.

El grupo de los Gneisses y Pizarras.—Esta formación, puesta inmediatamente encima del fundamento granítico y rellenando ciertos sinclinales del grupo precedente, almacena bien las aguas.

Las pizarras, provistas de grietas y hendiduras en todas direcciones, dejan entrar las aguas, que llegando al Gneiss, en parte están detenidas en éste, formando un horizonte de agua. La otra parte llega por infiltración hasta el granito, y representa el último horizonte de agua. El valle de San Antonio debe su riqueza de agua á la formación de las pizarras. (Fig. 4).

Las rocas rhyolíticas terciarias.—Estas rocas tienen poca significación por su distribución limitada. Como están dislocadas y partidas por blocks, se las puede considerar com impropias para detener agua.

El pleistoceno ofrece poca perspectiva, como acabamos de exponer.

El Cuaternario.—Esta formación posee poca potencia en la depresión de La Paz, pero tiene uno, tal vez varios horizontes de agua. Séame permitido hablar en este lugar de un terreno cuaternario, que no pertenece precisamente á la región estudiada, pero llama la atención por su probabilidad de encontrar agua artesiana.

Se trata de los aluviones poderosos de la depresión de Tecuán.

Grandes cantidades de acarreo fueron transportadas siguiendo valles y barrancos, que bajan de una sierra bastante lluviosa, y que conducen mucha agua á este llano. Hace años fué abierto un pozo cerca de Tecuán; á 16 m. de profundidad, encontraron la primera capa acuífera. El agua subió con gran violencia, pero sin alcanzar la superficie. Los trabajadores que se hallaban en el pozo tenían que salvarse precipitadamente, dejando sus herramientas en el pozo. La obra fué abandonada. Creo que el llano de Tecuán tiene más perspectiva de producir agua artesiana, que la depresión de San

Pedro. No pude notar dislocaciones. El ejemplo mencionado enseña, que existen capas poderosas acuíferas en el Cuaternario. Valiera bien la pena, de abrir un pozo cerca de la playa, donde las capas son más poderosas y de grano más fino.

Reitero á usted, Señor Ministro, las protestas de mi más distinguida consideración.

Libertad y Constitución, México, Marzo 5 de 1903.

Ernesto Angermann.

EL AREA CUBIERTA

POR LA

CENIZA DEL VOLCAN DE SANTA MARIA.

OCTUBRE, 1902.

POR EMILIO BÖSE, DR PHIL

En un viaje que hice por encargo del Instituto Geológico por el Sur de Oaxaca, por Chiapas y Tabasco en Noviembre-Diciembre 1902, y Enero hasta Abril 1903, pude recoger una cantidad de noticias sobre el área que cubrió la ceniza que provino de la erupción del volcán de Santa María, Guatemala, el 24 de Octubre de 1902. Yo había cedido mis noticias al Sr. Prof. K. Sapper, en Tübingen, que está preparando una Memoria sobre aquella erupción; pero últimamente se publicó por Gustav Eisen [1] un artículo, en el cual el autor da un mapa de la distribución de aquella ceniza, y encuentro completamente errónea la parte que se refiere á México. El autor indica que en Tacaná formó la ceniza una capa de diez pies, que en Tonalá había 6 pulgadas, en Te-

[1] G. Eisen.—The earthquake and volcanic eruption in Guatemala, in 1902. *Bull. Am. Geogr. Soc.*, tomo 35, 1903, págs. 325-352.

huantepec más de una pulgada, en Puerto Angel una una pulgada, etc.

Parece que tenemos aquí otro ejemplo de un autor que copia fielmente las noticias de periódicos, para levantarlas á la altura de observaciones científicas; ya he mencionado en otra parte[1] que los periódicos de México, así como los de los Estados Unidos, no merecen confianza demasiado grande, cuando se trata de asuntos de sensación, como erupciones de volcanes, temblores, etc. Yo también he leído que en Motocintla había varios metros de ceniza y que en Comitán había caído más de 30 cm.; pero llegando á los lugares, he visto los errores. En Tehuantepec cayó una cantidad relativamente insignificante; la capa que se formó no llegó probablemente á la altura de un milímetro; viajando hacia el Este ví aumentar la ceniza que tenía cerca de San Cristóbal Las Casas casi un centímetro de altura; en Comitán midió el Sr. Tiedemann la altura de la ceniza en una azotea y obtuvo como resultado la altura de 26 milímetros; las mismas condiciones observé entre La Concordia y Chicomuselo. Cerca de la Hacienda de La Nueva (véase el mapa de Sapper, en "*Gebirgsbau und Boden des nordlichen Mittelamerika.*" Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft N° 127, Gotha 1899), ví aumentar claramente la masa de ceniza. En Motocintla se habían medido en una azotea 21 centímetros de ceniza, en Tacaná también aproximadamente 21 centímetros; el Sr. Furbach[2] en la finca "Covadonga" cerca de Tapachula

[1] Böse.—Sobre las regiones de temblores en México.—*Mem. Soc. «Antonio Alzate,»* tomo 18, 1902, págs. 166, 172, 176, 181 y sig.

[2] R. Brauns.—Asche des Vulkans Sta. María in Guatemala. *Centralbl. f. Min. Geol. u. Pal.* 1901, pág. 132.

midió 195 milímetros. Es verdad que el Señor Münch[1] ha usado la palabra "zollhoch (á la altura de una pulgada, de la cubierta de la ceniza en San Cristóbal; pero esto no se debe tomar en sentido estricto; me he convencido en mi visita á San Cristóbal, que la mayoría de las personas estima la altura de la ceniza en menos de un centímetro.

Al Norte de la Mesa Central de Chiapas, la cantidad de ceniza ha sido insignificante; en la mayoría de los lugares que visité no se ha podido hacer una medida de la cantidad, porque cuando estuvo cayendo la ceniza vino un aguacero que llevó en seguida lo ya depositado.

En el mapa adjunto á esta noticia he indicado los puntos en el Oeste y Norte donde se observó todavía lluvia de ceniza; Eisen[2] menciona que la ceniza llegó hasta Acapulco y Mérida, pero no he podido obtener una comprobación fidedigna. En el primer tiempo circuló también la noticia de que la ceniza había llegado hasta México y Veracruz, pero esta noticia era errónea.

Comparando el mapa publicado por Sapper[3] con el mío, se ve claramente que la propagación de las cenizas ha sido en la dirección de SE. á NW., lo que se explica fácilmente por la dirección del viento. El Sr. Barón v. Türkheim-Baden[4] observó cerca de Tapachula que el viento vino del SE. al tiempo de la lluvia de ceniza. La región cubierta por las cenizas es muy angosta y muy

[1] C. Schmidt.—Ueber vulkanische Asche gefallen in San Cristobal L. C. [*Sud mexiko*] am. 25 Oktober 1902. *Centralbl. f. Min. Geol. u. Pal.* 1903, pág. 131.

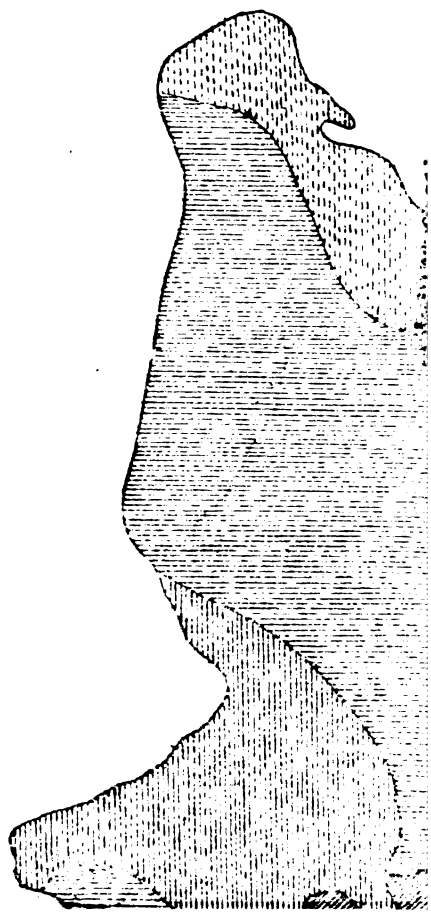
[2] Loc. cit., pág. 344.

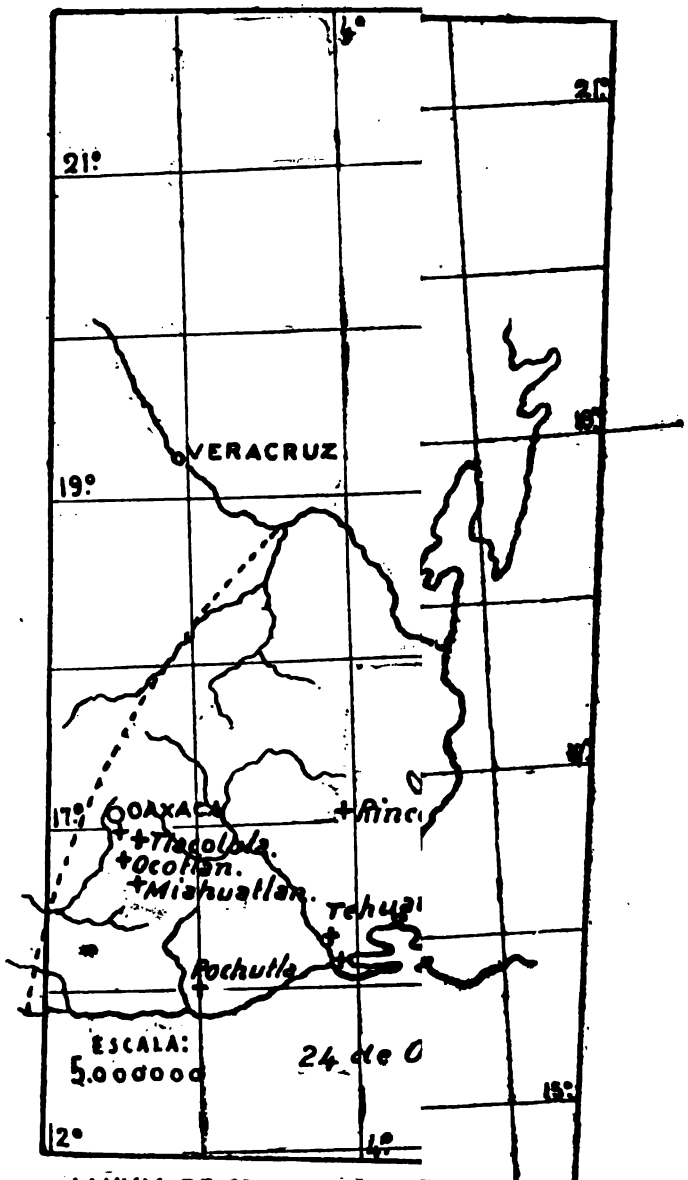
[3] K. Sapper.—Der Ausbruch des vulkans Sta. Maria in Guatemala, [Oktober 1902]. *Centralbl. f. Geol. Min. u. Pal* 1903, pág. 43.

[4] Brauns.—Loc cit., pág. 133.

larga, lo que se explica también por las condiciones climatéricas de Chiapas. El límite entre la Mesa Central y la montaña al Norte de ella, forma también un límite climatérico; al Norte está la región lluviosa, al Sur la seca, en la cual predominan los vientos del Sureste.

México, Diciembre de 1903.





LLUVIA DE CENIZAS DE L

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 3.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

EL MINERAL DE ANGANGUEO

POR EL ING.

EZEQUIEL ORDOÑEZ.

ANALISIS Y CLASIFICACIÓN

DE

UNA MUESTRA DE GRANATE DEL MINERAL DE PIHUAMO, JALISCO

POR EL INGENIERO JUAN D. VILLARELLO.

APUNTES SOBRE EL PALEOZOICO EN SONORA

POR EL DR. ERNESTO ANGERMANN.

MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

BETLEMITAS NUMERO 8.

1904

EL MINERAL DE ANGANGUEO, MICHOACAN.

POR EL ING. EZEQUIEL ORDÓÑEZ.

(Lámina VIII).

La región minera de Angangueo está ubicada en los estribos occidentales de una extensa y complicada sierra que participa de los dos grandes sistemas hidrográficos en que se divide la red fluvial de los Estados de México y Michoacán entre cuyos límites se encuentra la sierra mencionada. Corona á la dicha sierra, cerca de su extremo septentrional, una amplia mesa de 3,200 metros de altura sobre el nivel del mar; las ramificaciones que la sierra envía hacia la Mesa Central, se ligan de tal manera con otros elementos orográficos, que pierde allá su individualidad tanto topográfica como geológica.

El macizo principal de la sierra lo forma un grupo de pizarras de considerable espesor y de calizas cuya exacta edad no ha sido fijada todavía, pero que son probablemente cretáceas, más ó menos metamorfizadas por acciones tectónicas ó por fenómenos químicos acaecidos durante la formación de las vetas. A estas rocas sedimentarias se asocian en varias partes del macizo,

dos grupos de rocas eruptivas; las rocas verdes andesíticas miocenas y las rocas basálticas, que desde el plioceno hasta la época reciente han mantenido en constante actividad volcánica esta región; y es de ver cómo las estribaciones del macizo que descansan en la Mesa Central, están cubiertas por lavas, formándole á la sierra un verdadero cinturón donde se encuentran un gran número de cráteres. Tanto las pizarras cretáceas como las andesitas del Mioceno, encierran vetas minerales de composición y estructura diversas. Dos de estas regiones mineras, de indiscutible importancia industrial, son hoy el sitio de grande actividad, á causa del descubrimiento de algunas bonanzas en vetas conocidas desde hace tiempo ó en otras recientemente exploradas. Los distritos mineros á que nos referimos son: El Oro, con gruesos filones cuarzosos esencialmente auríferos, armando en pizarras, y cubiertos en algunos lugares por extensas corrientes de lavas basaltíticas que ocultan los crestones de las vetas. Tlalpujahua, con gruesas vetas argentíferas armando en las mismas pizarras y en rocas verdes apizarradas muy metamorfizadas. Por último; debe también figurar el mineral de Angangueo, con vetas angostas en rocas eruptivas andesíticas. Estas vetas son, en general, pobres en plata, y están constituídas principalmente de sulfuros (de fierro, de plomo y de zinc).

El orden en que hemos enumerado estos tres importantes grupos de vetas, es probablemente el de su edad, siendo el del Oro el más antiguo. Aquí sólo nos vamos á ocupar de la región de Angangueo, exponiendo en pocas palabras el resultado de nuestras observaciones durante una corta visita.

No existe ningún estudio extenso sobre el Mineral de Angangueo. Lo único que hemos podido encontrar es una corta descripción hecha por J. Burkart, [1] la que por la claridad de la exposición y lo juicioso de sus observaciones, da una excelente idea de esta región minera. Este estudio, publicado en 1836, como resumen de las visitas hechas por el autor, desde 1827, puede, aun hoy, después de sesenta y ocho años, servir como base para un estudio más extenso, pues el ensanche que ha tenido el Distrito, sólo ha tenido lugar en minas conocidas en su mayor parte desde entonces.

En una de las cañadas que bajan del lado Sur de los cerros que coronan la mesa extendida en la parte alta de la sierra, está situado el pueblo de Angangueo, inmediato á una de las principales vetas del Distrito y en un lugar estrecho como lo es toda la cañada, que se llama de San Francisco ó de las Papas, limitada por estribos altos y de pendientes muy fuertes, todavía en partes cubiertos de vegetación. La altura de Angangueo sobre el nivel del mar es de 2,600 metros.

LAS VETAS.

Como hemos dicho, las vetas de este Distrito son en general angostas y de baja ley de plata, pero sus metales son muy abundantes. Hay varias circunstancias que dificultan en alto grado su explotación; tales son, la abundancia del agua en la parte superior de dichas vetas y la presencia casi constante de una tabla gruesa de una masa arcillosa que no tiene consistencia en

1 Aufenthalt und Reisen in Mexico, T. I.

tramos y que, además, origina estancamientos, impidiendo la infiltración y el curso natural de las aguas.

Sin embargo de que el campo minero de Angangueo cubre una amplísima zona en los flancos de la sierra, á juzgar por los numerosos crestones que asoman, los trabajos mineros se encuentran concentrados, como en la época de Burkart, en una faja de terreno al oriente y casi desde el fondo de la cañada de San Francisco, por donde corren, á distancias no muy considerables una de otra, varias vetas, cuyos crestones pueden seguirse en la superficie del terreno en varios kilómetros de longitud, y que son visibles principalmente en las barrancas y en las laderas de fuerte pendiente.

Los crestones de las vetas de Angangueo, como es común en las vetas de este tipo, se reconocen fácilmente no sólo por el cuarzo que forma su matriz y por la abundancia de óxidos ferruginosos que acompañan al cuarzo, sino también por la profunda alteración ó bien la silicificación de las rocas en una ancha zona á ambos lados de las vetas. De este modo los crestones aparecen, bien como partes blancas arcillosas ó de color amarillo por el fierro, mezcladas con fragmentos de cuarzo, ó bien como masas de roca, cruzadas por venillas de cuarzo. Burkart compara este Distrito, tanto por la naturaleza de la roca empotrante, como por la matriz de los filones, con los de Pachuca y Real del Monte, comparación bastante aceptable por la composición, naturaleza y origen de las vetas, principalmente con las de Real del Monte.

Debemos á la amabilidad del Señor Ingeniero José Straube, Director general de las minas de la Negociación de Trojes y de la de Symond y Camacho, únicas

Compañías que trabajan en el Distrito con actividad, un plano que da idea de la situación de las principales vetas de la región explotada. En dicho plano, se puede observar que las vetas más importantes son cuatro, conocidas con los nombres de San Cristóbal, Descubridora, El Carmen y Carrillos, con una orientación comprendida entre 10 y 40 grados N.E. y con echados variables al E. y W.; están ligadas entre sí por numerosas vetas secundarias ó ramales que se separan de las vetas principales bajo ángulos que no exceden por lo general de 30 grados. Muchas de estas delgadas vetas intermedias no están marcadas en el plano.

De la posición de las vetas principales y de sus ramales, de la homogeneidad de su constitución, etc., resulta que dichas vetas forman, como las de Pachuca, un solo sistema y que las fracturas en las cuales se hizo el depósito mineral, fueron originadas durante un solo esfuerzo tectónico; como lo parecen probar, la situación aproximadamente paralela de las grandes fracturas y la posición de las fracturas secundarias, las que resultaron necesariamente por la falta de equilibrio al producirse las primeras. Si nos fuera posible comparar estrechamente las vetas de Angangueo, con otras que arman en rocas análogas y que son muchas en México, encontraríamos repetida la misma condición de las fracturas, en gran parte de acuerdo con el modo natural de partirse de estas rocas cuando están sometidas á cualquier esfuerzo ó choque. (Fig. núm. 1.) Pero bien sea por lo continuado del esfuerzo que las engendró ó por un defecto de equilibrio prolongado, lo cierto es que en las paredes de dichas fracturas

se han manifestado por largo tiempo movimientos, no sólo antes del depósito mineral, sino también durante su formación, como puede observarse juzgando por la estructura de las vetas.

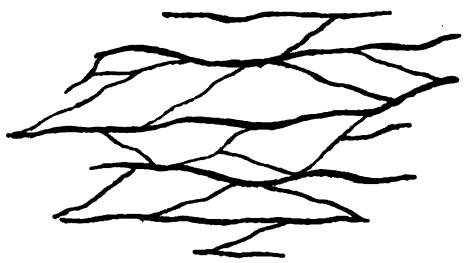


Fig. 1

En efecto, formando parte de su relleno, en las vetas que llamamos principales, se encuentra casi constantemente al lado de la masa dura y compacta de cuarzo ó de sulfuros minerales, cerca de los respaldos y á veces en el medio de las vetas, una banda ó cinta poco consistente, de espesor variable, de una masa blanca arcillosa, conteniendo una gran cantidad de granos y cristales pequeños de pirita y á veces también de otros sulfuros, pero éstos casi nunca existen en cantidad suficiente para ser aprovechables. Entre la cinta blanca de jaboncillos, el metal de matriz cuarzosa y la roca de los respaldos, hay la más perfecta separación, pues se ve que su contacto ha servido de superficies de resbalamiento, á juzgar por los relices planchados que siempre muestran.

La masa de jaboncillos en las vetas de Angangueo, ha introducido muchas ocasiones serias dificultades en el laboreo, á causa de la facilidad con que escurre como lodo; entorpece la marcha de las aguas, puesto que cubre el piso de los cañones de una capa impermeable,

y obliga á mantener con fuerte ademación algunos tramos, á veces bastante largos, de las galerías. La cinta de jaboncillos es, á nuestro modo de ver, el primitivo relleno de las fracturas con el material transportado en suspensión en las aguas frías de circulación é infiltración, ó el producto de la trituración de las rocas; y decimos que es un material acumulado antes del depósito mineral, porque si fuera posterior, ocasionado durante los nuevos movimientos del terreno, contendría los sulfuros metálicos en abundancia parecida á la de las vetas, no sólo por transporte mecánico, sino también por acciones químicas durante una redisolución de los sulfuros metálicos.

Sin embargo, una concentración mineral por transporte mecánico, se puede ver en las minas de Dolores y Purísima, sobre la veta de San Cristóbal. Allí la masa arcillosa encierra tanto bolsas de lamas bastante ricas, como también fragmentos de cuarzo con mineral. Si suponemos que las fracturas estaban al principio rellenas de material arcilloso, producto de la trituración de las rocas, es preciso admitir que se reabrieron tales fracturas en la época de la circulación de las aguas mineralizadas y que la precipitación mineral se hizo rápidamente para no destruir y mezclarse con el relleno primitivo que era consistente á fuerza de presión. Esta rapidez en el depósito mineral se comprueba fácilmente porque no existe regularmente una estructura concrecionada en las vetas, es decir, por el aspecto macizo de los metales.

La forma concrecionada suele mostrarse donde ha habido enriquecimientos secundarios y donde, por lo tanto, las vetas tienen el carácter brechiforme, lo que es muy común en todas estas vetas.

Hemos indicado ya que las vetas tienen esencialmente como matriz un cuarzo blanco lechoso, raras veces hialino. En las partes de las vetas donde ha habido depósitos secundarios, se encuentra la calcita blanca en venillas. El manganeso existe en estas vetas de una manera accidental, en la forma de carbonatos y silicatos de color rosado formando parte de la matriz y como el último producto del relleno original de las vetas, pues se ve aislado en cintas más ó menos gruesas adheridas á las partes mineralizadas, indicando casi siempre que estos carbonatos ó silicatos llenaron una cavidad.

Mezcla de carbonato de manganeso y de cal con sulfuros metálicos, es muy frecuente allí donde se puede probar un depósito secundario. En la veta de San Cristóbal existen tramos en donde la porción mineralizada de la veta se reduce á un simple hilo de unos cuantos centímetros de espesor, encerrado entre cintas gruesas de carbonatos de manganeso y de cal, cruzados por hilitos de cuarzo hialino.

El mineral más común de las vetas de Angangueo es la pirita común, maciza ó granuda, de color generalmente muy claro; viene á veces mezclada con marcasita que hace aún más claro el color de la pirita. Burkart habla de la pirita arsenical acompañando á la pirita común, pero en las labores actuales que nosotros visitamos, no pudimos observar cantidades apreciables de arsenopirita. La ley en plata de las piritas es muy variable y parece que sólo depende de la plata nativa que en pequeñas partículas viene íntimamente mezclada á aquélla. No nos parece muy justa la nota de Burkart de que, siendo dicha pirita de color blanco amarillento,

es tanto más blanca cuanto mayor es la cantidad de plata que contiene y que llega, según dice, hasta contener de 3 á 6 marcos por montón de 30 quintales. La pirita sin ley de plata, agrega, es de color amarillo latón y se altera dando una superficie iridescente. Esto último es verdad sólo para la pirita cristalizada que viene en las geodas, la que de hecho es muy pobre. En el mismo caso está la pirita en pequeños granos y cristales, que viene en la masa de jaboncillos.

La blenda es otro mineral abundante en estas vetas, de color generalmente negro, en gruesas masas compactas ó de crucero, con su raspadura característica pardo rojiza. La mayor abundancia de la blenda en las vetas, determina un empobrecimiento. En cambio, la blenda de color de pez da siempre un mayor contenido de plata.

La galena viene en gruesas masas de crucero; su abundancia es muy variable en las vetas de Angangueo y ha disminuído considerablemente en las regiones trabajadas últimamente, no siendo bastante la que hoy se extrae para cubrir las necesidades de la fundición que desde hace algún tiempo está paralizada, en vista de la escasez de este mineral. Es probable que cerca de la superficie, la galena fué más abundante ó que se localizó de preferencia en las regiones verdaderamente bonancibles de las vetas, pues la ley en plata de los metales con bastante galena, es siempre superior á la de los metales que sólo tienen el sulfuro de plomo accidentalmente.

Un clavo, casi de pura galena, se explota hoy en la veta de San Cristóbal, en los laboríos de "La Gloria," en una bonanza desde hace tiempo disfrutada. Estas

masas, casi puras, de galena, suelen tener una ley media de 2 kilos de plata por tonelada.

La pirita, la blenda y la galena debieron haberse depositado al mismo tiempo en las vetas, pues se encuentran mezcladas de la manera más irregular, aun en las parte raras concrecionadas de las vetas.

Cintas alternantes de pirita, galena y blenda, se ven con frecuencia en las partes brechiformes de las vetas, envolviendo á grandes pedazos de cuarzo. Ojos de estos minerales mezclados, están á veces envueltos por cuarzo compacto lechoso.

De la veta de S. Cristóbal y de la de Carrillos, hemos visto muestras de pirita y galena con hilos de plata nativa. El rosicler y la estefanita que cita Burkart, se han encontrado con abundancia relativa en las bonanzas. La chalcopirita se halla en todas las vetas del Distrito, y en general muy argentífera, al grado de considerarse como indicio de enriquecimiento en las vetas.

Para dar una idea del carácter y estructura de las vetas de Angangueo, daremos algunos ejemplos de lugares actualmente en explotación: En un pozo de la región Norte de la veta de los Carrillos, abajo del cañón principal, la veta sólo tiene poco más de un metro de espesor; no está bien mineralizada. Consta de una cinta angosta de mineral, envainada en jaboncillos y en tablas de roca descompuesta. (Fig. 2.) La veta está casi vertical.

Fig. 2

1.—Relis planchado de arcilla gris.

2.—Masa arcillosa con pequeños cristales y granos de pirita.

3.—Masa blanca arcillosa como el número 2, con fragmentos de roca de los respaldos, venillas de cuarzo y cintas de carbonato de manganeso.

4.—Cinta mineralizada compuesta de cuarzo, con puntos negros de óxido de manganeso, blenda negra, pirita y poca galena, el todo cruzado por venas de carbonatos de cal y de manganeso.

En las labores de San Nicolás, sobre la veta del Carmen, hay lugares que muestran en el espesor de un metro que allí tiene la veta, una masa compacta de pirita, galena y blenda, con muy pequeñas cantidades de cuarzo. Del lado del alto y á las dos terceras partes del espesor, se ve una cinta delgada paralela á los respaldos, formada de rodonita y de rodocrosita, con muy pocos sulfuros. En el alto, la veta se separa de la roca por una delgada guarda piritosa de superficie planchada, mientras que en el bajo, el metal cruza en venillas á la roca de los respaldos.

Suelen encontrarse en estas vetas gruesos caballos de roca blanca piritosa, dividiéndolas de este modo en varios cuerpos, y haciendo el espesor total relativamente considerable. Un punto bonancible de la veta de San Cristóbal en la mina de La Purísima, muestra la estructura siguiente: (Fig. 3.)

1. — Masa blanca arcillosa, conteniendo pirita.

2.—Cinta mineralizada de 0 m. 60 de espesor. Blenda, galena y pirita con poco cuarzo.

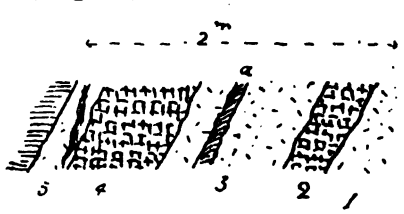


Fig. 3

3.—Caballo de roca blanca con granos de pirita cruzada por una cinta de cuarzo, con pirita argentífera.

4.—Cuerpo principal de la veta, conteniendo galena abundante, blenda negra, pirita y chalcopirita argentífera.

5.—Jaboncillos con pirita. Hilo de metal costeable con la composición de los cuerpos de veta 2 y 4.

En la misma veta de San Cristóbal, en las labores llamadas de San Atenógenes, se puede estudiar la estructura brechiforme de la veta y la mineralización de la roca blanca piritosa. En un espesor de 1 m. 50, encontramos la estructura de la veta que muestra la Figura 4.

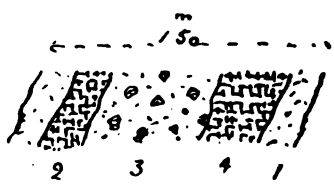


Fig. 4.

1.—Roca blanca piritosa compacta.

2.—Cinta de metal de 0. m. 2 de grueso, compuesta de pirita, blenda y galena.

3.—Caballo de roca blanca con pirita, con fragmentos de la roca de los respaldos empastados por mineral. El cuerpo tiene estructura brechiforme.

4.—Cuerpo más importante de mineral, pirita, blenda, galena y un poco de chalcopirita.

Por estos ejemplos se ve que con poca diferencia, el carácter de las vetas es el mismo, variando solamente la posición de las masas de jaboncillos. Hemos visto que el manganeso es accidental, como la calcita, y constituyen el último producto de relleno. La matriz principal es el cuarzo, aunque es poco abundante donde el metal es muy hecho. En los grandes tramos estériles

ó donde el mineral se reduce á simples hilos, el cuarzo blanco compacto constituye todo el relleno de las vetas.

En las vetas secundarias cuyo espesor raras veces excede de 0 m. 50, tales como la de Sta. Margarita, Santa Lucía, San Luis, Sta. Gertrudis, etc., subsiste la misma composición y estructura que en las vetas principales, solamente que no viene la masa de jaboncillos. Hay, sin embargo, una guarda con relis planchado, que separa la veta de la roca de los respaldos, la que está, en general, poco alterada y bastante dura.

Para completar esta corta exposición del carácter de las vetas de Angangueo, sería necesario decir algunas palabras sobre la distribución de su riqueza. Como en casi todos los antiguos Distritos acontece, no se pueden adquirir datos ciertos sobre la localización y real importancia de las bonanzas, porque no han sido cuidadosamente marcadas en los planos de las minas, ni es posible visitar fácilmente las regiones antiguas explotadas. La situación topográfica de Angangueo y la abundancia de aguas en sus minas, han impedido llevar los trabajos á gran profundidad, de modo que el estudio de la distribución de la riqueza sólo podría hacerse en el sentido de la dirección de las vetas, lo cual daría mucha luz en las investigaciones futuras á profundidad, hoy que las Compañías pueden disponer de mejores elementos para el desagüe. Lo único que podemos decir respecto á las bonanzas, es que la mayor parte se han encontrado casi desde la superficie, y han sido de grandes dimensiones, teniendo la forma de lentes muy próximos entre sí. Tales han sido, por ejemplo, las bonanzas de la veta de San Cristóbal, distribuí-

das en una extensión de más de 1,500 metros, como puede observarse en los antiguos laboríos y cañones que ligan á los tiros de Catingón, Dolores, Purísima, San Cristóbal, etc. Restos de clavos ricos existen todavía en explotación en algunos nuevos laboríos, especialmente en los de "La Gloria." En la mina de Dolores no sólo se trabajan estos puntos ricos, sino que se extraen igualmente los retaques y lamas con que fueron rellenadas antiguas labores, y que tienen una ley costeable. Parece que en las otras vetas, como en la de Descubridora, El Carmen y Carrillos, las bonanzas ya explotadas tuvieron también la forma de grandes lentes. Sin embargo, clavos ricos actualmente en explotación, afectan la forma de chimeneas casi verticales, muy distantes entre sí.

Los metales de Angangueo tienen hoy una ley media de 0 k. 900 á 1 k. 000 de plata por tonelada, y se extraen hasta 500 toneladas por semana. Se emplean actualmente cerca de 1,800 hombres. La falta de abundantes metales plomosos para la fundición, obliga á mantener parada la fundición de Trojes (2 Water-Jackets de 150 ton.). Los metales se exportan á la fundición de Aguascalientes, embarcados en el Ferrocarril Nacional que tiene Estación á kilómetro y medio de distancia del pueblo de Angangueo.

Hasta allí transportan los metales á lomo ó en vía férrea por el túnel que comunica con los cañones y cruceros en las vetas del Carmen, de Carrillos y de San Cristóbal. La extensión de los cañones y laboríos es enorme, pues hay cañón sobre la veta de San Cristóbal que tiene más de cuatro kilómetros de longitud. La longitud total de los cañones de las principales minas

de Angangueo, puede estimarse en cerca de diez kilómetros.

LAS ROCAS.

Las rocas del Mineral de Angangueo se caracterizan por su avanzada alteración, aunque muestran á la simple vista un aspecto muy fresco. Son generalmente de color verde, agrisado ó amarillento. En la superficie las acciones atmosféricas son á veces muy intensas, las rocas se presentan como masas poco consistentes, arcillosas, ferruginosas, principalmente cerca de las vetas. Concretando el estudio de las rocas á muestras procedentes de los trabajos interiores de las minas, veamos las diferencias que tienen entre sí.

Estructura.—Desde luego existen cambios importantes de estructura. Aunque el tipo normal de todas las rocas es el de una andesita de pasta microlítica, con escasa materia amorfa, y sembrada de fenocristales de andesina básica y de labrador, hay numerosos ejemplos de rocas con pasta casi holocristalina porfídica, y entonces las rocas tienen toda la apariencia de porfiritas y aun de doleritas, cuando la hornblenda y la oligoclasa adquieren mayores dimensiones y la estructura es más homogénea y ofítica. Hemos visto estas rocas con relativa frecuencia en el nuevo socavón del Todopoderoso y en el crucero de San Pablo, entre las vetas de San Cristóbal y El Carmen.

Diferencias de composición.—Estas radican principalmente en la mayor ó menor abundancia de la sílice, como componente original de la roca, bajo la forma de cristales de cuarzo más ó menos corroídos, ó finamente granudo en la pasta; las andesitas comunes

se cambian en dacitas y hasta en rhyolitas y tobas rhyolíticas. Con la hornblenda viene, en cantidades variables, la augita y accesoriamente la hiperstena entre los fenocristales, aparte de que la augita se encuentra á veces en microlitas. Tobas rhyolíticas y dacitas hay en el socavón del Carmen, en el crucero de Sta. Cecilia, etc.

Silicificación.—Esta modificación de las rocas por la influencia de las vetas minerales, es muy común, y de tal manera avanzada, que impide reconocer en muchos casos la naturaleza original de las rocas. La pasta sólo existe á veces en lagunas, y se vuelve dacítica á causa de la coexistencia de materia felsítica análoga á la de las rhyolitas, y de microlitas de oligoclasa. Partes granudas de cuarzo secundario se interponen entre las lagunas, así como grandes playas de calcita. La mayor parte de la sílice, como la calcita, son de procedencia exterior, pero una pequeña parte viene de la descomposición de los feldespatos, que ya no se reconocen más que por sus contornos. La pirita en pequeños cristales, es muy abundante en estas rocas.

Otras alteraciones.—Silificadas ó no las rocas, casi constantemente muestran otras alteraciones, tales como la transformación de la pasta y de los cristales de feldespato en cerisita, algo de epidota y calcita; los minerales ferromagnésicos augita y hornblenda, se cambian en clorita fibrosa en esferolitas con cruz de interferencia, así como en calcita y epidota.

México, 1904.

ANALISIS Y CLASIFICACION DE UN GRANATE

PROCEDENTE DEL MINERAL DE PIHUAMO, JALISCO.

POR EL ING. JUAN D. VILLARELLO.

Por el examen macroscópico pueden distinguirse en esta muestra dos minerales; uno es de color amarillo pálido, lustre resinoso, opaco, con dureza de 5.5 á 6, agrio, de raspadura blanca; el otro es de color negro de hierro, lustre metálico, opaco, con dureza de 6, y raspadura negra que se adhiere á la navaja.

La análisis cualitativa completa de esta muestra, indicó la presencia de los siguientes compuestos:

$$SiO^2,\ Al^2O^3,\ Fe^2O^3,\ FeO,\ CaO \text{ y } MgO.$$

Para la análisis cuantitativa se tomó un fragmento que contenía en su mayor parte mineral amarillento, y algo del negro, diseminado en el anterior.

El fragmento referido, finamente pulverizado, se fundió con cuatro partes de carbonato de potasa sodado, se trató en seguida por ClH y un poco de AzO^3H, y se obtuvo la completa disolución de los minerales. Se evaporó la disolución á sequedad, se humedeció después el residuo con una gotas de ClH, se evaporó de nuevo, y se trató, por último, con ClH y H^2O. Se

precipitó así SiO^2, se lavó el precipitado y se pesó SiO^2. La disolución separada del anterior precipitado se trató por $ClAzH^4$ y un exceso de AzH^3, se filtró y se lavó el precipitado, formado por Al^2O^3 y Fe^2O^3; y la disolución se trató por $C^2O^4(AzH^4)^2H^2O$, se filtró y lavó el nuevo precipitado, y se pesó CaO al estado de CO^3Ca. La disolución separada del precipitado anterior se trató por PhO^4Na^2H, se filtró y lavó el precipitado, y se pesó MgO al estado de Ph^2O^72Mg. El precipitado de Al^2O^3, ya mencionado, se disolvió en ClH y se trató por K^2O, se filtró, lavó y pesó el precipitado, formado por Fe^2O^3; y la disolución restante se neutralizó por ClH, se trató por AzH^3, y se filtró, lavó y pesó el precipitado constituído por Al^2O^3.

El resultado de la anterior análisis cuantitiva, fué el siguiente:

SiO^2	33.52%
Al^2O^3	3.56
Fe^2O^3	31.72
CaO	31.04
MgO	0.34
Suma	100.18

Todo el fierro contenido en el fragmento analizado se cuanteó al estado de peróxido. [1]

Para determinar con los datos anteriores la fórmula racional del compuesto analizado, se puede proceder de la siguiente manera:

1 Por falta de algunos elementos.

Óxido.		Peso atómico.		Oxígeno que contiene.		Cantidad encontrada.		Oxígeno que le corresponde.	
SiO^2		60	:	32	::	33.52	:		17.88
Al^2O^3	R'	102.14	:	48	::	3.56	:	1.67	11.19
Fe^2O^3		160	:	48	::	31.72	:	9.52	
CaO	R	56	:	16	::	31.04	:	8.87	9.00
MgO		40.4	:	16	::	0.34	:	0.13	

Como en este caso la cantidad de oxígeno correspondiente á los protóxidos es casi igual á la de los peróxidos, y los peróxidos mencionados tienen triple cantidad de oxígeno que los protóxidos, si tomamos por unidad para determinar la relación de oxígeno en el presente caso, la tercera parte del contenido en los protóxidos, ó sea 3, tendremos:

Para R		Para R'		Para Si
9 ÷ 3		11.19 ÷ 3		17.88 ÷ 3
3	:	3.73	:	5.96

y se puede admitir la siguiente relación

$$3 : 3 : 6$$

no teniendo en cuenta la fracción 0.73 correspondiente á los peróxidos, porque la cantidad relativa de oxígeno para los peróxidos tiene que ser múltiplo de 3, y 3.73 está mucho más cerca de 3 que de 6. Además, en el fragmento cuanteado existía una pequeña parte del mineral negro ferruginoso como dije antes, y por lo mismo existe en los resultados anteriores un exceso de peróxido de fierro, que no debe formar parte de la composición del silicato, cuya fórmula trata de determinarse.

En vista de lo anterior, la fórmula del silicato será:

$$3RO + R'^2O^3 + 3SiO^2$$

ó sea

$$R^3R''^2Si^3O^{12}$$

fórmula correspondiente á los granates, y que en el presente caso puede escribirse así:

$$(Ca,Mg)^3\ (Fe,Al)^2\ Si^3O^{12}$$

por la cual, y en vista de los resultados del cuanteo anterior, se ve que una pequeña cantidad del Fe^2O^3 ha sido sustituída por Al^2O^3, y una pequeña cantidad de CaO ha sido sustituída por MgO.

El granate pertenece, por lo tanto, al grupo de los ferrosocalcáreos.

La fracción 0.73 de la cantidad relativa de oxígeno en exceso, en los peróxidos, corresponde á 2.19% de peróxido de fierro, que debe restarse de 31.72%, cantidad total encontrada de este peróxido. En este 2.19 de

$$Fe^2O^3 \text{ hay} \begin{cases} Fe \ldots 1.53 \\ O \ldots 0.66 \end{cases}$$

Suma : 2.19

como se ve por el siguiente cálculo:

Peso atómico.			Fierro contenido.				Fierro.
Fe^2O^3	160	:	112	::	2.19	:	1.53

			Oxígeno contenido.				Oxígeno.
Fe^2O^3	160	:	48	::	2.19	:	0.66

Como todo el Fe fué cuanteado al estado de Fe^2O^3 y existe FeO en la muestra cuanteada, como lo indicó la análisis cualitativa, podemos suponer que el por ciento 0.18 obtenido como exceso en el resultado del

cuanteo, sea oxígeno no contenido en el mineral. Por lo tanto, si restamos 0.18 de 0.66, cantidad de oxígeno ésta última, correspondiente al exceso anterior de peróxido de fierro, quedará 0.48, y el compuesto de fierro contendrá:

Fe	1.53
O.	0.48
Suma.	2.01

y en pesos atómicos

$$Fe\ 1.53 \div 56 = 0.02$$
$$O\ 0.48 \div 16 = 0.03$$
$$0.02 : 0.03 :: 3 : 4.5$$

ó aproximadamente la fórmula de este compuesto será:

$$Fe^3O^4$$

correspondiente á la magnetita.

Restando de 31.72% del peróxido de fierro encontrado 2.19% que hubo en exceso, como se ve por lo anterior, quedará 29.53, y por lo mismo los resultados del cuanteo del silicato serán:

SiO^2	33.52%
Al^2O^3	3.56
Fe^2O^3	29.53
CaO	31.04
MgO	0.34
	97.99
Fe^3O^4	2.01
	100.00

Calculando con los resultados anteriores para 100 partes del silicato puro, tendremos:

97.99	: 33.52	: : 100	:	SiO^2=	34.21%
97.99	: 3.56	: : 100	:	Al^2O^3=	3.63
97.99	: 29.53	: : 100	:	Fe^2O^3=	30.13
97.99	: 31.04	: : 100	:	CaO=	31.68
97.99	: 0.34	: : 100	:	MgO=	0.35
				Suma.....	100.00

Estos resultados son comparables con los indicados para los granates ferro-calcáreos.

Por los resultados de la análisis, así como por los caracteres de los minerales estudiados, puede decirse que:

Esta muestra mineral está compuesta de :

Granate ferro-calcáreo : $[(Ca,Mg)^3 (Fe,Al)^2 Si^3O^{12}]$ y Magnetita : (Fe^3O^4).

Laboratorio del Instituto Geológico Nacional.

México, Marzo 1903.

APUNTES SOBRE EL PALEOZOICO EN SONORA.

POR EL DR. ERNESTO ANGERMANN.

(Lámina IX).

Hasta hace poco se conocían apenas capas de la época paleozoica en México, y todavía en 1896, dice el Señor Aguilera, este excelente conocedor de la República, en su "Sinopsis de Geología Mexicana:" "Los terrenos que forman el grupo paleozoico están apenas representados en nuestro país, y aquellos de los cuales poseemos fósiles característicos que no dejan lugar á duda respecto á su edad, pertenecen al período carbonífero."

En 1900 el Profesor E. T. Dumble publicó un artículo "Notes on the Geology of Sonora, México,"[1] en el que dió noticias sobre capas paleozoicas, situadas al N. de la Villa de Alamos, en aquel Estado, y particularmente sobre capas arcaicas, cambrianas y silurianas. Y mientras que Dumble refiere las dos primeras formaciones como pertenecientes al arcaico y cambriano, solamente á causa de su apariencia petrográfica y su situación relativa á otras formaciones, cita de cier-

1 Trans. Am. Inst. Min. Eng. Vol. XXIX.

tas capas fósiles (Cyatophyllum y Heliolites), del paleozoico, que representan decididamente un argumento más importante para la corroboración de su opinión.

Como tal noticia era naturalmente de gran interés para este Instituto, la Dirección se sirvió encargarme con la ocasión de un viaje para el Estado de Sinaloa, visitar las capas paleozoicas y recoger fósiles para la colección.

Se trataba entonces de dos puntos fosilíferos en calizas, de los cuales uno se hallaba cerca de la mina de Trigo, y el otro en una serranía, á dos leguas americanas al N.E. de Casita.

Encontré solamente la primera localidad designada, pero hallé las mismas calizas en otros dos puntos cercanos.

Estos tres puntos interesantes están situados en un valle longitudinal en la dirección N.-S. de la falda occidental de la Sierra Madre, y á dos jornadas al N. de Alamos.

Saliendo de la cuenca de Alamos, formada por rhyolitas, se entra en un valle ancho, cuyos límites orográficos hacia E. y W. están formados por sierras andesíticas que cubren la falda de la Sierra Madre desde Sinaloa.

Estas sierras tienen un contorno sumamente característico, de modo que se las puede conocer desde lejos. Son cerros monoclinales, cuya parte superior forma mesa con laderas de inclinación variable, pero con rumbo general N.30°W. En los flancos que dan al valle, están como cortados, formando peñascos acantilados, mientras que los flancos opuestos se inclinan muy suave-

mente. De vez en cuando están partidos y parecen blocks enormes de una poderosa formación dislocada. Viajando algún tiempo en estos valles, se le impone á uno la sugestión de que esta clase de valles corresponden á líneas tectónicas del rumbo N.30°W., es decir, paralelo á la línea costeña del Golfo de la Baja California. La cubierta poderosa de la falda occidental de la Sierra Madre por andesitas, rhyolitas y basaltos juntos con sus tobas, brechas y conglomerados, parece haber sido despedazada por un plegamiento reciente de la Sierra Madre, preformando valles y dando ocasión á las salidas á la superficie de capas antiguas escondidas en las profundidades.

Respecto á la edad y sucesión de estas rocas eruptivas modernas, remito al lector de nuevo á las descripciones precisas de Aguilera, en su sinopsis. Generalmente hablando, las andesitas y rhyolitas pertenecen al mioceno y plioceno, los basaltos en su mayoría son más modernos.

Estas rocas, principalmente las andesitas, forman la roca regional en nuestro terreno; pero en medio de ellas, como islas, aparecen formaciones paleozoicas y triásicas de una manera inesperada y esporádica. Son capas perpendiculares ó por lo menos muy inclinadas y metamorfizadas por una presión enorme.

Ocupémonos, pues, primero de la estratigrafía de nuestro valle, cuyo fondo, como ya mencioné, está limitado por cerros de andesitas y material andesítico de una altura de cerca de 500 m.

Cuaternario: Distingo dos grupos de depósitos.

1.—Capas horizontales que se formaron después de haber terminado el movimiento tectónico. Son capas de cantos y guijarros sueltos, arenas y acarreo.

2.—Capas más ó menos solidificadas que se formaron, cuando ya existía el valle, pero que participaron todavía de los últimos movimientos tectónicos. Son areniscas y brechas, compuestas del detritus de las rocas regionales. Erupciones de basaltos acompañaron esta época.

Primer grupo.—En todo el camino desde Alamos hasta Trigo, se encuentran formaciones superficiales modernas. Son cantos y guijarros de calizas, cuarcitas, puddingas, andesitas, rhyolitas, basaltos y escoria esponjosa basáltica. A veces se encuentran también arenas, como detritus de un granito. Todas estas rocas transportadas y de origen tan variado, se encuentran principalmente en el camino de Agua Caliente á Casita, donde yacen sobre areniscas. Su potencia pasa raras veces de 30 ctm.; muchas veces no alcanza este espesor.

También entre Mójari y Trigo se hallan semejantes depósitos no solidificados en forma de fragmentos angulosos, de cuarcitas y calizas, poco transportadas y aparentemente proviniendo de la brecha en que descansan.

Acarreo fluvial.—En el camino oriental desde Casita á Mójari, y todavía más al N., afloran conglomerados de una potencia de 20 m. Es una formación fluvial típica, que supone una corriente rápida y fuerte.

Todas estas formaciones descritas, representan las capas más modernas de nuestra región. Las formaciones siguientes ya tomaron parte en los movimientos tectónicos, si bien en un grado bastante diferente. Empezamos con las capas que sufrieron solamente una inclinación muy ligera por los últimos procedimientos tectónicos. (Plioceno).

Areniscas.—Entre Agua Caliente y Conicari, y hasta cerca de Casita, ocurren areniscas de una potencia de 8 á 10 m. Consisten en granos redondos, principalmente de cuarzo, caliza y feldespato, solidificados por un aglutamiento silizoso. Sus capas están horizontales á veces; pero en su mayoría ligeramente inclinadas hacia el S. y S.W. Descansan discordantemente en las brechas, de que se hablará luego.

Brechas. (División Mójari).—La formación seguramente más poderosa y más extensa en el valle de Trigo á Piedras Verdes, está representada por depósitos de brechas y areniscas que en lo general—por lo menos en los puntos visitados por mí—corresponden á la División "Lista Blanca" de Dumble, que es verdad, abarca también las areniscas antes descritas. La formación está desarrollada principalmente entre Mójari y Trigo, y la llamo División Mójari.

Las siguientes rocas componen de abajo á arriba la División de Mójari:

1.—Brechas de color claro, de fragmentos de andesitas desagregadas y granito descompuesto.

2.—Brecha andesítica (rumbo N.45°W., echado S.W., 200 m. de potencia).

3.—Areniscas blancas de fragmentos angulosos, de calizas y cuarcitas, con un aglutamiento silizoso.

Como se ve, toda la serie contiene material de las rocas regionales. Representa depósitos, formados en aguas terrestres.

Su rumbo cambia desde N. hasta N.W., su echado es hacia el Poniente.

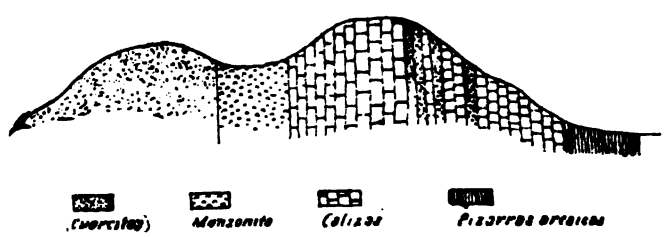
Las capas están inclinadas más que todas las antes mencionadas (hasta 45°), y tomaron seguramente par-

te en los últimos movimientos del valle, cuando éste se formó. Toda la serie de capas tendrá una potencia de 300 m.

Basaltos.—En unos puntos (en el camino de Mójari á Casita y entre Trigo y Mójari) ocurren basaltos y escorias basálticas esponjosas. Provienen de diques, que perforan la brecha de la División Mójari, que considero de edad pliocénica.

Trías.—En las inmediaciones de Piedras Verdes se encuentra una formación que atribuyo al triásico, siguiendo la opinión de Aguilera. Parece corresponder al arcaico de Dumble. Son pizarras metamorfizadas, de color colorado-azul, silizosas y sericíticas. Parecen yacer inmediatamente encima de un granito, y contienen los criaderos de cobre de Piedras Verdes. Su potencia pasa de 150 m.

Paleozoico.—A 8 kilómetros de distancia al S. de Casita y á dos kilómetros al W. del camino de Casita —Conicari en la orilla occidental de nuestro valle, se halla un cerro redondo de 300 m. de altura. Está rodeado al S. y al W., por cerros andesíticos de 500 m. de altura, al N. por el cuaternario y al E. por pizarras arcaicas. (?)



Las rocas que componen este cerro, son:

1.—Cuarcitas y conglomerados de cuarzo fuertemente cementados, de color rojo y blanco.

2.—Monzonita cuarcífera (según la determinación del Sr. Ordóñez).

3.—Calizas de color claro azul. colorado, gris, azul, de estructura semicristalina, fosilíferas.

El rumbo de las capas es N. al S., el echado vertical. Por este motivo no es posible, en este punto. averiguar cuáles son las capas más antiguas. Pero en los puntos que á continuación van á ser descritos, pude observar con bastante certeza que las pizarras arenosas forman el bajo en la serie de capas. La edad de las pizarras no es determinable, por falta completa de fósiles, pero su apariencia recuerda mucho á las pizarras arcaicas.

Encima de las pizarras vienen las calizas. Su aspecto es semicristalino por metamorfismo. Los fósiles que contienen, están muy alterados, pero se pueden distinguir articulaciones de tallos de encrinidas, corales y braquiópodos. Sobre la edad de estas capas, véase á continuación.

La monzonita es una roca intrusiva típica, como se la encuentra en este país, como intrusiones en capas de muy diferente edad, especialmente en capas cretáceas.

La cuarcita representaría, en mi concepto, la formación más moderna.

La misma serie de capas se encuentra en las inmediaciones del rancho de Trigo. En esta localidad aparecen, abajo de la División de Mójari, pizarras rojas, de grano sumamente fino, á veces cambiándose en verdaderas cuarcitas, del mismo color y aspecto, como las de Casita. Intercaladas entre estas capas, arman como vetas bancos gruesos de calizas fosilíferas arriba

descritas. Encontré en estas calizas un braquiópodo, que no deja duda á su edad paleozoica.

Aunque el estado de conservación no admite una determinación genérica, el aspecto general muestra claramente los contornos característicos de braquiódopos paleozoicos.

Descripción paleontológica.—Se trata de un corte longitudinal, y algo oblicuo de un braquiópodo. Se ve la valva pequeña, que tiene una figura longi-oval-triangular, y sinuada en el borde frontal. La estructura de la valva está completamente destruída y sustituída por una caliza cristalina, pero se observan en el ala izquierda estrías finas horizontales. El margen cardinal es largo y derecho. Restos del septum y de los principios de los crura, se puede observar bajo de dos fuertes prominencias del apófisis cardinal. De la valva grande existe solamente el resto de un pico fuertemente sobresaliente. Así tiene nuestro braquiópodo muchas señales comunes con el género Spirifer Sow.

Todo este grupo de pizarras, cuarcitas y calizas yace sobre una pizarra arenosa, sumamente alterada por fuertes presiones y altas temperaturas. Diques de la monzonita cuarcífera perforan toda la serie de capas.

Cerca de las casas del rancho de Agua Caliente aparecen abajo de areniscas horizontales y modernas, las mismas pizarras arcaicas (?) y encima de ellas las calizas y cuarcitas de Trigo. También aquí la inclinación de las capas es vertical, el rumbo de N. á S.

TECTÓNICA.

Refiriéndome á lo que he dicho en la introducción, se le impone á uno la sugestión de que las fallas principales del Estado de Sonora, en la falda occidental

de la Sierra Madre, corren en una dirección N.30°W. más ó menos, y paralelas á la costa del Golfo de la Baja California, y la misma opinión me parece expresar Aguilera en sus "Itinerarios Geológicos"[1] sobre las montañas de Sonora cuando dice:

"Cuando las montañas se agrupan para formar cordilleras, se nota en ellas una tendencia á tomar una dirección general, que es próximamente de N.N.W. á S.S.E....." y

...."Los diversos grupos de montañas, sierras y cordilleras, que cubren la porción oriental del Estado, forman un solo sistema de montañas, cuyos diversos elementos no han hecho su aparición en una misma época, sino que han sido levantamientos sucesivos, siendo los más modernos los de mayor elevación y magnitud; y los más antiguos han sido cubiertos por las rocas sedimentarias modernas, constituyendo los que han quedado descubiertos, cerros de pequeña elevación en la falda occidental de la Sierra Madre....."

En mi caso, como se trató solamente de una visita de un punto fosilífero, y de una excursión de pocos días en nuestra región, no puedo rendir datos exactos y más generales sobre la tectónica de la región visitada.

Pero, si se me permite hacer unas indicaciones, quisiera decir lo siguiente:

La capa poderosa de andesitas y rhyolitas de la época meso-y neoterciaria, que cubre en un espesor de varias centenas de metros la falda occidental de esta parte de la Sierra Madre, fué seguramente erodida y desgastada en muchos puntos por las aguas superficiales,

1 Bol. del Inst. Geol. Nos. 4, 5 y 6.

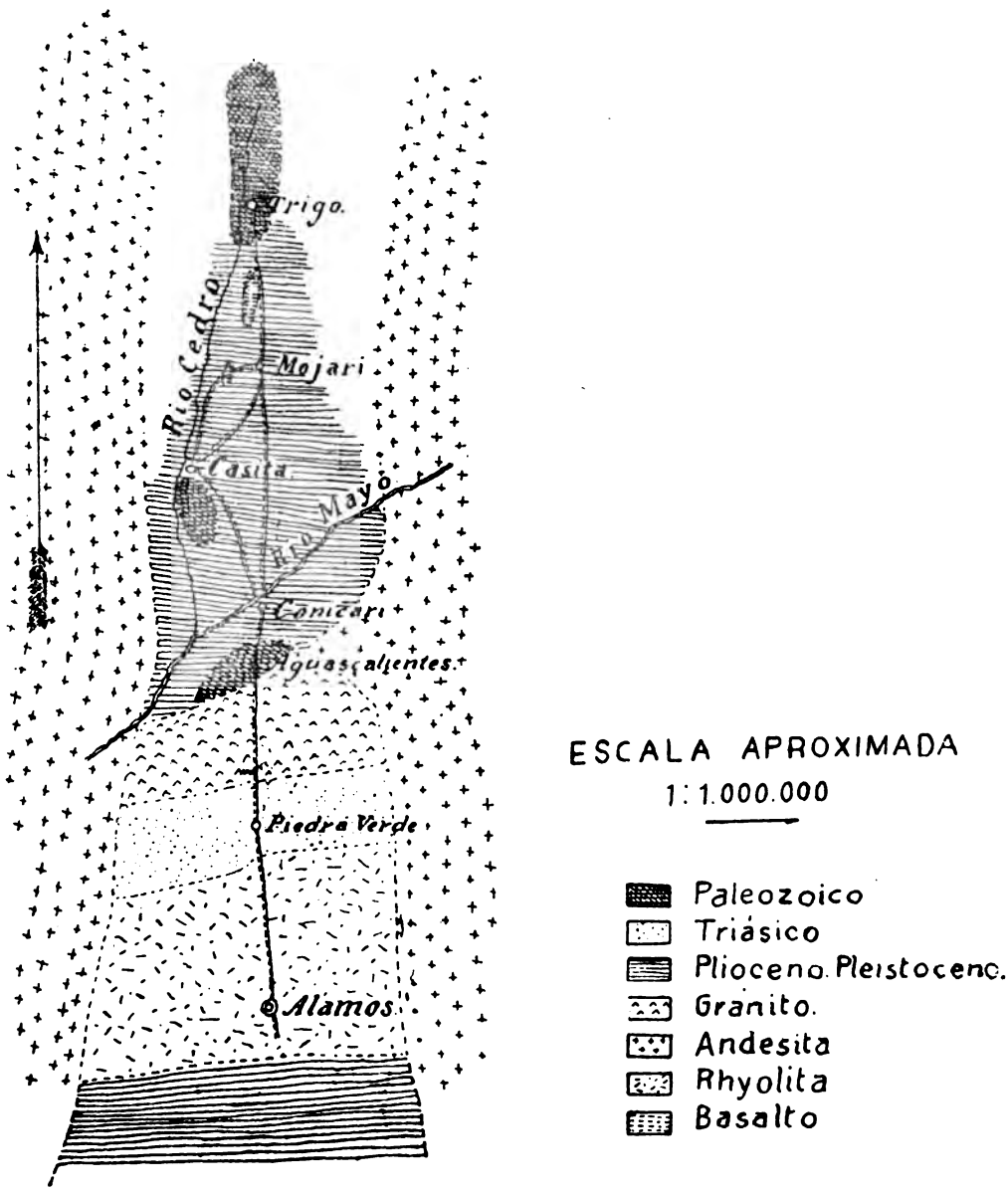
de manera que se puede considerar, según Aguilera, l. c., el Estado de Sonora como un plano inclinado que se apoyara por un lado en la Mesa Central y por otro en el Golfo de California, y que hubiera sido acanalado á diversas profundidades y paralelamente á la costa.

Siguiendo este concepto, se debería explicar el Valle de Alamos-Trigo como un simple valle de erosión. Y seguramente esta actividad de las aguas contribuyó mucho á la formación del valle actual. Pero considerando el rumbo, casi invariable de los valles y de las capas de rocas eruptivas y paleozoicas, se le ocurre á uno la idea de que la preformación del valle longitudinal se debe á una fractura, ó quizá dislocación de la cubierta eruptiva, como consecuencia de los levantamientos sucesivos á que Aguilera se refiere.

Lám. IX.

)A

)cenc.



Paleozoico en Sonora.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 4.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 4.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

ESTUDIO
DE LA TEORÍA QUÍMICA

PROPUESTA POR EL SR. D. ANDRÉS ALMARAZ
para explicar la

FORMACION DEL PETROLEO DE ARAGON, MEXICO, D. F.

por el Ing.

JUAN D. VILLARELLO.

EL FIERRO METEORICO DE BACUBIRITO, SINALOA,

POR EL DR. E. ANGERMANN.

(LÁMINA X).

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE AMOZOC, PUEBLA,

POR EL INGENIERO E. ORDOÑEZ.

MEXICO

OFICINA TIPOGRAFICA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO.

BETLEMITAS NUMERO 8.

1904

Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. D. Andrés Almaraz

PARA EXPLICAR LA FORMACIÓN DEL PETRÓLEO DE ARAGÓN,[1]

MÉXICO, D. F., Y CUYO ESTUDIO FUÉ HECHO

POR ENCARGO DEL SR. DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

Por el Ing. de Minas Juan D. Villarello

Dos cuestiones de suma importancia se propone dilucidar el autor del Informe del cual voy á ocuparme, problemas que plantea en esta forma: "¿Existe en ese terreno un depósito de petróleo? ¿El petróleo que se encuentra en el agua, que sale de las perforaciones del terreno, es arrastrado por ella de los depósitos que allí existen?" (Pág. 4.)

Para resolver los problemas anteriores, procede el Sr. Almaraz de la siguiente manera. Analiza el petróleo, los gases que se desprenden de los pozos y el agua producida por estos mismos; y de los resultados de estas análisis sólo publica datos insuficientes para hacer un estudio detallado. En efecto, con excepción de las análisis de los gases, cuyos datos son completos, aunque sin indicar la cantidad producida en la unidad de

1 Andrés Almaraz. Estudio é informe sobre el petróleo de Aragón. México. 1903.

tiempo, respecto al petróleo y las aguas, pormenoriza la descripción física, y en cuanto á la composición, sólo indica: refiriéndose al petróleo, que los hidro-carburos que lo constituyen, son "desde la decana $C^{10}H^{22}$ hasta la octodecana $C^{18}H^{38}$" y no existen hidrocarburos no saturados; y refiriéndose al agua que sale del pozo de Aragón, que contiene "bióxido de carbono CO^2 en grande abundancia y cantidad variable, y ortocarbonato ferroso CO^4H^2Fe en cantidad variable, pero en razón directa de la producción del petróleo y de la temperatura de la arena que saca la cuchara." Después de indicar los datos anteriores, estudia con mucha ligereza el autor mencionado, varias de las teorías conocidas para explicar la formación del petróleo, y concluye diciendo que: ninguna de ellas "llena las condiciones locales" y "son inaplicables" al caso del pozo de Aragón. En vista de eso, dice el autor, tenía "por fuerza que ver cuál era la causa, en este caso particular, de la producción del petróleo," y propone la siguiente teoría química, que paso á estudiar.

En la página 8 del referido Informe dice su autor: "El análisis del agua nos había demostrado la existencia de una sal de fierro al mínimo, que, como todas las sales de fierro de esta clase, era reductora, por ser poco estable. ¿No podría esta sal reducir al agua y al bióxido de carbono para transformarse en sal al máximo, y como consecuencia de esta reacción exotérmica venir la combinación del hidrógeno del agua con el carbón del bióxido de carbono? Y en la página 9 agrega: "si teóricamente juzgamos el asunto, teniendo en cuenta las proporciones en que los cuerpos se combinan y las propiedades de ellos, vemos que esto es perfectamente facti-

ble, y que la reacción podría representarse de la manera siguiente:

$$10\ CO^4H^2Fe+16\ H^2O=5\ Fe^2(OH)^6+C^{10}H^{22}+13O^2.''$$

Por lo tanto, el ortocarbonato ferroso en contacto del agua, sería capaz de producir "por sí solo la decana, dejando un residuo de hidrato férrico." Este procedimiento es enteramente distinto de los cinco métodos indicados por Dupont & Freundler, [1] para la producción de los hidrocarburos saturados.

Conocida ya la teoría química propuesta, veamos ahora: si es cierto que la reacción indicada es exotérmica; si esta reacción es necesaria y tiene verificativo sin el auxilio de una energía extraña; y por último, en caso de no ser una reacción necesaria, en qué condiciones pudo verificarla, según dice, el autor de la teoría.

Comenzaré por estudiar la reacción anterior, aplicada á otros hidrocarburos de la misma serie, para lo cual estoy autorizado por el autor de la teoría, quien al formular la pregunta ya indicada, habla en general de la reducción del agua y el bióxido de carbono por la sal de fierro al mínimo, sin indicar que por esta reducción se produzca sólo la decana, y más autorizado me considero cuando el mismo autor, en la página 9 de su Informe, dice: "De la misma manera que teóricamente hemos representado la reacción que se verificaría para producir la decana, *podíamos haberlo hecho para cualquiera de los otros hidrocarburos de esta serie.*"

La decana pertenece á los hidrocarburos saturados

1 Manuel opératoire de chimie organique. Paris. 1896, pág. 93.

C^nH^{2n+2}, y en esta misma serie se encuentran: la methana CH^4, la ethana C^2H^6 y la propana C^3H^8, hidrocarburos cuya supuesta producción, por el efecto reductor del ortocarbonato ferroso, representaré teóricamente de la misma manera que lo hace el autor referido, para producir la decana.

Producción de la methana.

$$2\ CO^4H^2Fe+5\ H^2O=Fe^2(OH)^6+2\ CH^4+70$$

Esta reacción sería endotérmica y absorbería 404.2 calorías, [1] como se deduce del siguiente cálculo:

Estado inicial.

2 $(C+O^2)=2\ CO^2$ disuelto desprende	2×99.6=	+199.2 C
2 $(Fe+O)$ hidratado sólido desprende	2×69.0=	+138.0
2 (H^2+O) líquida desprende	2×69.0=	+138.0
2 (FeO hidratado $+CO^2$ disuelto) desprende.	2×10.0=	+ 20.0
2 (CO^4H^2Fe) desprende	+ 2×247.6	
5 $(H^2+O)=5H^2O$ líquida desprende	+5×69.0.	=+345.0
	Suma.	=+840.2

Estado final.

3 (H^2+O) líquida desprende		+207.0
(Fe^2+O^3) hidratado sólido desprende.		+191.2
2 $(C+H^4)$ * desprende	2×18.9=	+ 37.8
	Suma. . . .	=+436.0

Diferencia =—404.2 calorías.

1 Kilogramo grado.

* Datos térmicos de los hidrocarburos de la Agenda de Chemiste. Paris. 1896, pág. 269; y los demás datos térmicos están tomados de M. Berthelot. Essai de mecanique chimique. Paris. 1897. Tomo I, págs. 371-373-377-784.

Formación de la ethana.

$$2\ CO^4H^2Fe + 4\ H^2O = Fe^2(OH)^6 + C^2H^6 + 60$$

Esta reacción sería endotérmica y absorbería 349.7 calorías, como lo indica el siguiente cálculo:

Estado inicial.

2 CO^4H^2Fe * desprende	2×247.6=+495.2
4 H^2O desprende	4× 69.0=+276.0
Suma.	=+771.2

Estado final.

3 (H^2+O) líquida desprende	+207.0
Fe^2O^3 hidratado desprende	+191.2
C^2H^6 desprende	+ 23.3
Suma.	=+421.5

Diferencia =—349.7 calorías.

Formación de la propana:

$$6\ CO^4H^2Fe + 11\ H^2O = 3\ Fe^2(OH)^6 + 2\ C^3H^8 + 170$$

Esta reacción sería endotérmica y absorbería 989.0 calorías, como se ve por el siguiente cálculo:

Estado inicial.

6 CO^4H^2Fe desprende.	6×247.6=+1485.6
11 H^2O desprende.	11× 69.0=+ 759.0
Suma.	=+2244.6

* Como se indicó antes.

Estado final.

9 (H^2+O) desprende.	9× 69.0=+	621.0
3 Fe^2O^3 hidrato desprende	3×191.2=+	573.6
2 (C^3+H^8) desprende	2× 30.5=+	61.0
Suma	=+	1255.6

Diferencia =—989.0 calorías.

Por último, la reacción propuesta por el Sr. Almaraz para explicar la formación de la decana, es también endotérmica, y absorbe 1526.33 calorías, como se ve por el siguiente cálculo:

(A) "10 CO^4H^2Fe+16 H^2O=5$Fe^2(OH)^6$+$C^{10}H^{22}$+13 O^2" pág. 9.)

Estado inicial.

10 CO^4H^2Fe desarrolla. . .	10×247.6=+2476	calorías.
16 H^2O desarrolla	16× 69.0=+1104	„
Suma. . . .	=+3580	calorías.

Estado final.

15 (H^2O) desarrolla	15× 69.0=+1035	calorías.
5 Fe^2O^3 hidratado desarrolla	5×191.2=+ 956	„
C^{10}+H^{22} desarrolla *	+ 62.67	„
Suma. . . .	=+2053.67	calorías.

Diferencia=—1526.33.

En vista de los concluyentes resultados anteriores puede decirse que: la supuesta formación de los hidrocarburos satarados por la acción reductora del ortocar-

* Amer. Jour. Sci. Third series. Vol. XXI, núm. 122. 1881. Pág. 95.

bonato ferroso, sobre el agua, no se verifica con desprendimiento de calor; y por lo mismo, la reacción propuesta no es exotérmica, sino notablemente endotérmica.

Para que se verifiquen las combinaciones endotérmicas, se necesita hacer intervenir una energía extraña á la de los componentes, agente auxiliar que sea capaz de efectuar no sólo el trabajo necesario para provocar la reacción "sino que su propio trabajo proporcione la energía necesaria para constituir la combinación." [1] Por lo tanto las reacciones endotérmicas de que me ocupo no se verificarán directamente, y por lo mismo no es aplicable á ellas el principio de la necesidad de las reacciones, ó sea que: "Toda reacción química susceptible de verificarse sin el auxilio de un trabajo preliminar, y sin la intervención de una energía extraña, se produce necesariamente si desprende calor." [2] Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, fundadas todas en el principio del "trabajo máximum," puede decirse que: la reacción propuesta no es necesaria, no se produce directamente, y en caso de verificarse, necesitaría de la intervención de una energía extraña, no sólo para provocarla, sino para continuarla y concluirla.

Veamos ahora cuáles fueron las energías extrañas que empleó el autor de la teoría, para verificar la reacción que propone.

En la página 9 del Informe se lee: "Para comprobar nuestra hipótesis, disolvimos el ortocarbonato ferroso en agua saturada, á la presión de tres atmósferas, de

1 Berthelot.—Loc. cit. Tomo II, pág. 25.
2 Berthelot.—Loc. cit. Tomo II, pág. 21.

bióxido de carbono, y después dejamos que se desprendiera el bióxido de carbono. Como las aguas del pozo de Aragón, la muestra en un principio era perfectamente limpia; pero al poco tiempo se iba poniendo turbia y amarillenta, al mismo tiempo que se formaba una película en la superficie del líquido, idéntica á la que se ve en los caños de Aragón."

Como se comprende, por lo que he indicado, el autor no fué fiel á todas sus ideas, pues al principio supuso que el ortocarbonato ferroso reduciría "al agua y *al bióxido de carbono*" (pág. 8), y después al representar la reacción que propone, ya no tiene en cuenta la reducción del bióxido de carbono; pero en cambio, al comprobar su hipótesis, hace intervenir en el experimento al mismo bióxido de carbono, aunque sólo para disolver el ortocarbonato ferroso. El objeto de este disolvente sólo fué el de activar la reacción, formando un sistema homogéneo líquido en el cual se encontraban los compuestos que debían obrar entre sí; pero el contacto entre los compuestos así establecido, no es bastante para producir la reacción en estudio, porque ningún agente de contacto "determina en ningún caso conocido las combinaciones endotérmicas,"[1] y por lo mismo, en el experimento descrito por el autor de la teoría no interviene ninguna energía extraña que pudiera determinar la referida reacción endotérmica, la cual en vista de lo dicho anteriormente, es de creerse que: no se verificó en las condiciones del experimento.

Por otra parte, la película comenzó á formarse al desprenderse el bióxido de carbono, pues el agua "en un principio era perfectamente limpia." Ahora pregun-

1 Berthelot.—Loc. cit. Tomo II, pág. 27.

to yo: ¿por qué motivo hay que dejar desprender el bióxido de carbono para que se formen los hidrocarburos saturados? pues ¿no están ya en contacto el ortocarbonato ferroso y el agua, compuestos que según la reacción propuesta son los que tienen que obrar entre sí? ¿El bióxido de carbono es nocivo é impide que la reacción se produzca?; entonces, ¿para qué lo usó el autor al hacer el experimento? Si el bióxido de carbono no es nocivo, sino que facilita y acelera la reacción formando un sistema líquido homogéneo, ¿por qué no se verifica la reacción sino al desprenderse el mencionado bióxido de carbono? Pero aun hay más. En las líneas anteriores he supuesto que la reacción se verifica al desprenderse el bióxido de carbono, pero esto no está comprobado por el experimento, pues la película no fué analizada; no se dice cuál ó cuáles de los hidrocarburos saturados se formaron, y sólo se indica que: la película "tenía idéntica apariencia á la que se forma en las aguas tantas veces mencionadas de Aragón." (Pág. 10.)

Todas las aguas naturales que tienen carbonato de cal y ortocarbonato ferroso, disueltos por el ácido carbónico contenido en las mismas aguas, depositan carbonato de cal é hidrato férrico cuando se airean ó se calientan al contacto del aire, pues por ambos motivos se desprende el ácido carbónico que obra como disolvente, y por lo mismo, se precipitan los compuestos mencionados, enturbiando el agua y formando también una película en la superficie del líquido, película que al romperse se precipita hacia el fondo del recipiente ó canal por donde las aguas circulan, arrastrando consigo parte de los cuerpos ligeros que estuvieren flotando también en la superficie del agua, y los cuales irán me-

cánicamente interpuestos. Por esta precipitación se explican los depósitos que se forman en los canales por donde circulan aguas ferruginosas ó calcáreas; se explica también la formación de los criaderos de fierro, debido al depósito producido por las aguas ferruginosas derramadas por manantiales,[1] se comprende la formación de las estalactitas y estalagmitas en las grutas; y se explica, por último, el uso de calentadores para evitar en parte las incrustaciones en los calderos, inyectándoles agua caliente. Inútil sería citar autores en apoyo de esta precipitación, pues todos están de acuerdo con ella, y por lo mismo me bastará decir con el Doctor Newberry,[2] que siempre que las soluciones ferrosas están expuestas al aire absorben oxígeno, y el fierro se convierte en hidrato férrico, el cual en forma de películas irisadas, flota en la superficie del agua, y estas películas, al romperse, caen al fondo.

La explicación que antecede es bastante, sin duda, para comprender el motivo por el cual se enturbió el líquido y se formó la película al desprenderse el ácido carbónico en el experimento referido, y también es bastante para saber la composición de ese precipitado y película. En efecto, si el desprendimiento del ácido carbónico se verificó en ausencia del aire, el precipitado y película fué formado por el ortocarbonato ferroso, que es insoluble en el agua, pero soluble en el agua saturada por ácido carbónico[3] y por lo mismo debía precipitarse al desprenderse este último; y si el desprendi-

1 Boletín del Instituto Geológico de México. México. 1902. Núm. 16, pág. 42.
2 G. Moreau. Etude Industrielle des Gites Métallifères. Paris. 1894, pág. 148.
3 Arthur M. Comey. Dictionary of chemical solubilities inorganic. London. 1896, pág. 85.

miento del bióxido de carbono tuvo lugar en presencia del aire, como es lo más probable, juzgando por el color que tomó el líquido, entonces el precipitado y la película estuvieron formados por hidrato férrico, pues el ortocarbonato ferroso, al contacto del aire, produce este hidrato con desprendimiento de carbónico. Esta reacción se representa así:

$$2\ CO^4H^2Fe+H^2O+O=Fe^2(OH)^6+2\ CO^2.$$

Esta reacción es exotérmica y desarrolla 33.2 calorías, como se ve por el siguiente cálculo:

Estado inicial.

$2\ CO^4H^2Fe$ desprende	$2\times247.6=+495.2$
H^2+O líquida desprende	$+\ 69.0$
Suma	$=+564.2$

Estado final.

$3\ (H^2+O)$ líquida desprende	$+207.0$
Fe^2O^3 hidratado desprende.	$+191.2$
$2\ (C+O^2)$ disuelto desprende	$+199.2$
Suma.	$=+597.4$

Diferencia $=+33.2$ calorías.

Además, esta reacción se verifica sin la intervención de ninguna energía extraña, ni aun para provocarla, y puesto que es exotérmica, tendrá que producirse necesariamente.

Si el segundo miembro de la ecuación anterior representara solamente un estado intermedio de la reacción propuesta por el Sr. Almaraz, habría necesidad de

suponer para llegar al estado final indicado por él, que: el bióxido de carbono descompone al agua con formación de un hidrocarburo saturado; es decir, que:

$$2\ CO^2 + 3\ H^2O = C^2H^6 + 7O$$

reacción endotérmica que absorbería 382.9 calorías, como se ve por el siguiente cálculo relativo á la formación de la ethana:

Estado inicial.

2 ($C+O^2$) disuelto, desarrolla	+199.2	calorías.
3 (H^2+O) líquida, desarrolla	+207.0	„
Suma. . . . =	+406.2	calorías.

Estado final.

C^2+H^6 desarrolla	+ 23.3	calorías.
Suma. . . . =	+ 23.3	calorías.

Diferencia = —382.9 calorías.

Para el caso de la supuesta formación de la decana, en presencia del oxígeno del aire como se operó tal vez en el experimento indicado, la reacción podría representarse como sigue:

Estado inicial. *Estado intermedio supuesto.* *Estado final supuesto.*

$$10\,CO^4H^2Fe + 16\,H^2O + 5\,O = \left\{ \begin{array}{l} 5\,Fe^2(OH)^6 \\ + \\ 10\,CO^2 + 11\,H^2O \end{array} \right. = \underbrace{C^{10}H^{22} + 31\,O}_{+\ 5\,Fe^2(OH)^6}$$

Las condiciones térmicas de esta reacción serían las siguientes:

Estado inicial.

10 CO^4H^2Fe desarrolla	+2476	calorías.
16 H^2O desarrolla.	+1104	„
Suma. . . . =	+3580	calorías.

Estado intermedio supuesto.

5 $Fe^2(OH)^6$ desarrolla.	+1991	calorías.
10 CO^2 desarrolla	+ 996	„
11 H^2O desarrolla.	+ 759	„
Suma. . . . =	+3746	calorías.

Estado final supuesto.

$C^{10}H^{22}$ desarrolla	+ 62.67	calorías.
5 $Fe^2(OH)^6$ desarrolla	+1991.00	„
Suma. . . . =	+2053.67	calorías.

La diferencia entre los estados final é intermedio supuestos, es:

Estado final supuesto	+2053.67	calorías.
Estado intermedio supuesto	+3746.00	„
Diferencia =	—1692.33	calorías.

Según este cálculo el último cambio de estado se haría con absorción de 1692.33 calorías; la reacción sería endotérmica, y por las razones ya expuestas no puede verificarse en las condiciones del experimento. En cambio, la diferencia entre los estados intermedio supuesto é inicial, es:

Estado intermedio supuesto.	+3746	calorías.
Estado inicial	+3580	„
Diferencia =	+ 166	calorías.

Por lo tanto esta última reacción será exotérmica, con desprendimiento de 166 calorías; y como el segundo cambio de estado no se verifica, la reacción que tiene lugar en el experimento á que me refiero es la representada por la siguiente ecuación, y no por la (A).

Estado inicial.

$$\text{(B)}\ 10\ CO^4H^2Fe+16\ H^2O+50=$$

Estado final.

$$5\ Fe^2(OH)^6+10\ CO^2+11\ H^2O.$$

Con lo anterior sería bastante para convencerse de la imposibildad de la teoría; sin embargo, procedí á hacer el experimento indicado antes.

Disolví ½ gramo de ortocarbonato ferroso, químicamente puro y recientemente preparado en 700 c. c. de agua saturada por ácido carbónico (CO^2), y después dejé que se desprendiera este ácido, colocando la solución en un vaso abierto, y al contacto del aire. Después de 24 horas, con un filtro lavado y tarado, de la marca Dr. N. Caspary, recogí la mayor parte de la película formada, coloqué el filtro en un embudo, lo lavé con agua destilada, sequé el filtro en la estufa, á la temperatura de ebullición del agua, que es temperatura inferior á la de ebullición de la decana, y lo pesé en seguida, obteniendo un aumento de peso de 0.0238 gramos; quemé después el filtro y calenté al rojo las cenizas en un crisol de platino, pesé en seguida y obtuve una pérdida de peso de 0.0003 gramos, descontando el peso de las cenizas del filtro. Disolví después el contenido del crisol en ClH, diluído, y precipité con AzH^3; filtré, lavé, calenté al rojo y pesé el precipitado formado por Fe^2O^3,

obteniendo como peso 0.0235, casi igual al peso de la película recogida por el filtro y secada en la estufa.

De lo anterior se concluye que: la composición de la película formada es Fe^2O^3.

Como última comprobación de la teoría indicada, dice su autor en el Informe, pág. 10, que: "agitando los residuos amarillentos de las zanjas por donde corre el agua que sale del pozo, se desprenden burbujas que, al llegar á la superficie del agua, dejan una manchita aceitosa de petróleo; este petróleo no podía encontrarse ahí si no era porque se había producido en su seno; pues por su poca densidad, en caso contrario, habría pasado á la superficie del agua."

El fenómeno anterior es de muy fácil explicación, sin necesidad de recurrir á la nueva teoría, á la cual no sirve de comprobación. En efecto, en el agua de Aragón existe una cantidad muy pequeña de petróleo que flota en la superficie, y naturalmente al romperse la película formada por el hidrato férrico, y caer al fondo de las zanjas, esta película arrastra consigo una pequeña cantidad de petróleo que retiene aprisionado, y al agitar el depósito del fondo, se facilita la separación del petróleo aprisionado en este depósito poroso, y una vez libre, sube á la superficie del agua y forma las manchas grasosas.

Lo que originó la teoría que he estudiado, fué el hecho, según su autor, "de que las aguas en el momento de salir del pozo no tuvieran ni vestigios de petróleo" (pág.10); pero como la cantidad de este último es muy pequeña y mucha el agua que sale del mismo pozo, y el autor no indica cuáles fueron sus observaciones para determinar el hecho mencionado, no puedo considerar

su afirmación como del todo concluyente, por falta de datos, y sí puedo decir que es muy deficiente la resolución que ha dado el autor al segundo problema que se propuso resolver, y que indiqué al principio de este estudio.

Como resolución al primer problema que se propuso el autor, sólo dice en su referido Informe, pág. 11: "Si como es de suponerse y está confirmado por la observación y la experiencia, el petróleo se produce bajo la acción del ortocarbonato ferroso sobre el bióxido de carbono y el agua, es de presumirse que estas condiciones durarán indefinidamente, como han durado siglos hasta la fecha, y además que de la misma manera que en la superficie de la tierra se ha producido el petróleo, pudo y debe haberse producido en el seno de ella, desde hace siglos, el que, acumulado, tendría por límite inferior el terreno primitivo, ó sea la prolongación del plano inclinado que forman los cerros que este terreno tiene al Norte." Como no es de aceptarse la reacción fundamental de esta teoría, por las razones ya indicadas, y teniendo en cuenta, además, que en el experimento que hizo el autor tuvo que expulsar al bióxido de carbono, para que, según él, se produjera la reacción que propone; según el experimento, y aceptando la teoría, podría creerse en la formación sintética del petróleo en la superficie, al contacto del aire, pero no en el interior, donde existe el ácido carbónico en exceso. Por lo anterior, considero también muy deficiente la resolución al primer problema, y muy dudosa la existencia de este depósito interior de petróleo, si sólo tiene como fundamento la teoría propuesta.

Ojalá que más tarde, con mayores datos y más estu-

dio, pueda indicar el Sr. Almaraz la génesis aceptable de la formación del petróleo en las cercanías del pozo de Aragón.

Resumiendo este estudio, puedo formular las siguientes conclusiones:

1.ª—No puede aceptarse como posible la reacción química propuesta por el Sr. Almaraz, para explicar la formación del petróleo de Aragón.

2.ª—La teoría química de este autor no es fundamento suficiente para suponer la existencia de un depósito interior de petróleo en las cercanías de Aragón, ni para creer en la inagotabilidad de ese producto en la referida región.

Las conclusiones anteriores son enteramente distintas de las formuladas por el Sr. Almaraz en sus tantas veces referido Informe, páginas 11 y 12.

Instituto Geológico, México, Abril 4 de 1903.

EL FIERRO METEORICO DE BACUBIRITO

(EST. DE SINALOA).

POR EL DR. ERNESTO ANGERMANN.

(Lámina X).

En el mes de Julio de 1902, el Director del Instituto Geológico Nacional, por acuerdo del Ministerio de Fomento, mandó al subscrito á Bacubirito, Estado de Sinaloa, para tomar posesión de una meteorita, caída en esa parte, como propiedad nacional, y para que iniciara la construcción de un cuarto que la protegiera de la intemperie.

En lo siguiente tengo la honra de dar un Informe sobre el resultado de mi excursión.

La meteorita se encuentra en el terreno del "Ranchito," situado como dos km. al S.E. del Rancho del Palmar de los Sepúlvedas (10 km. al S. de Bacubirito). Cayó en un valle longitudinal (N.-S.) de la falda occidental de la Sierra Madre que poco hacia al W. se pierde en el llano de la Playa Colorada.

Las rocas de esta región son de origen eruptivo, del grupo de las andesitas. Su magma, saliendo de ciertos focos en el terciario, se extendió sobre pizarras de una edad incierta, quizá cretácea. La meteorita misma se

encuentra en un campo de maíz en el lado oriental del valle, al pie de una sierrita de 200 m. de altura.

En cuanto á la historia del hallazgo, el dueño del terreno, el Sr. D. Leocundo Aguilar, refiere lo siguiente: En 1863 estaba labrando aquel campo de maíz, cuando la reja del arado tropezó con el fierro meteórico en la parte más cercana á la superficie. El brillo plateado de los arañazos excitaba toda la población, que creía que era plata, hasta que un herrero la desengañó, declarando aquella piedra como fierro, por el moho que la cubría.

El cura de Bacurito explicó el hallazgo como procediendo del infierno, aconsejando que se le dejara en paz. Si bien que esta opinión canónica no hubiera tardado en perder su virtud, la meteorita ya había dejado de tener el interés suficiente, para motivar un trabajo explorador. No se veía en ella más que un obstáculo inútil y perjudicial á la labranza y platicaba con los pocos pasajeros sobre él. Así sucedió probablemente que la primera nota científica apareció en 1876, publicada por Mariano [1] Bárcena, notable científico y astrónomo mexicano.

Años después (1889), la mencionó A. del Castillo [2] en su Catálogo descriptivo de las meteoritas de México. En el año 1890, un Sr. Francisco Sosa y Avila [3] cuenta de él en un artículo, primero publicado en "El Correo de la Tarde," periódico mazatleco, y reproducido después en el "Minero Mexicano."

Al fin un americano, el Sr. Henry A. Ward, conocido colector de meteoritas, llegó á saber la existencia de

1 Mariano Bárcena, Proc. of the Acad. Nat. Sc., Phila., 1876.
2 A. del Castillo, Catalogue descriptif des Météorites du Mexique, 1889.
3 Francisco Sosa y Avila, Minero Mexicano, tomo 17, Nov. 19, 1890.

nuestra meteorita, y fué á descubrirla completamente, publicando datos detallados. [1]

Llegué unos meses después de haber sido puesta la meteorita á la luz del día, y puedo limitarme á una nota complementaria á las descripciones detalladas, sacadas por el Sr. Ward, que están acompañadas por magníficas fotografías.

El Sr. Ward acentúa el buen estado de conservación de la meteorita, y concluye de este hecho á una existencia relativamente corta en aquel lugar. Es verdad que observé una capa delgada (1 cm.) de tierra vegetal, entre el fierro y la andesita, pero siempre se puede suponer con mucha probabilidad, que la meteorita cayó en una época, cuando la intemperie apenas había empezado á obrar en la roca terciaria. Pero antes de opinar definitivamente sobre la edad terrestre del fierro meteórico, hay que considerar unas circunstancias geológicas de aquella región. No conocemos las condiciones climatológicas de la época anterior, para calcular las fuerzas de erosión, y luego tenemos que pensar en el hecho de que varios valles longitudinales de la falda occidental de la Sierra Madre de la costa del Golfo de California tomaron seguramente su origen en movimientos tectónicos muy modernos, quizá postterciarios.

Todos los autores que se han ocupado de la meteorita, calculan su peso, estimándole como 40 hasta 50 toneladas. H. A. Ward, que ha tenido seguramente la mayor oportunidad de tomar las medidas, tanto en su situación original, como en la situación presente, difiere bastante en sus cifras con las tomadas por mí.

1 Henry A. Ward, Proc. of Rochester, Acad. of Scie., July 1902, plates. American Geologist, Oct. 1902. Science, núm. 398, 1902. Science, núm. 401, 1902. Amer. Journ. of Science, núm. 82, 1902.

He aquí tres medidas independientes:

	Ward.	A. del Castillo.	Autor.
Largo,	m. 3,99	3,65	3,50
Anchura,	m. 1,9	2,00	2,20
Grueso,	m. 1,6	1,50	1,20

Estas diferencias no deben sorprender. Una masa tan irregular y pesada dificulta siempre la medida de sus dimensiones, y el cálculo del peso. También Ward reconoce esta dificultad, y hay que esperar hasta que se emplee un método exacto para medir el volumen ó para determinar el peso por pesada. Suponiendo la gravedad específica como 7,69, y considerando la figura general, estimo el peso de la meteorita en 25 ton. metr.

Ward menciona también la parte quebrada de la meteorita. Estas grietas, estando la superficie en sus alrededores relativamente lisa (en contraste con el resto de la superficie, que está rugosa y provista de oquedades), me hacen opinar que con el choque de la meteorita en la roca, se desprendieron unos pedazos que ahora están cubiertos por la tierra vegetal del campo.

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE AMOZOC.

POR EL ING. EZEQUIEL ORDÓÑEZ.

Amozoc, del Distrito de Tecalli del Estado de Puebla, se halla situado en el nacimiento de un angosto valle alargado en la dirección de Este ó Oeste, limitado hacia el Norte por las faldas de débil pendiente del volcán de la Malintzi y hacia el Sur por la cadena de cerros conocida con el nombre de Sierra de Amozoc, cuyas vertientes van tanto hacia el Valle de Puebla como hacia el Valle de Tepeaca, que se extiende en dirección opuesta y del cual el Valle de Amozoc es un afluente.

Como decimos, el pueblo de Amozoc está muy cerca de la línea de separación de estos dos grandes valles. Su subsuelo está formado de material volcánico muy permeable. Las aguas de circulación tienen un carácter puramente temporal y las aguas que se infiltran ocupan por regla general niveles profundos.

El estudio que hemos hecho de las profundidades de los pozos y de su nivel relativo, hace ver que todos los pozos comunes de la región están alimentados por una sola capa ó lecho de agua, que se profundiza al Norte por el aumento de espesor de los sedimentos volcánicos y que hacia el Sur es tanto menos profunda cuanto más

se aproxima al límite de las formaciones de material volcánico, entre las que se aloja la capa arenosa que retiene las aguas.

El pueblo de Amozoc sufre mucho por la escasez de agua, pues como dijimos, ningún arroyo ó corriente de agua persiste todo el año.

La profundidad de los pozos varía entre cinco y setenta metros; en los alrededores del pueblo, hacia las faldas del volcán hay pozos que tienen hasta ciento veinte metros de profundidad. El trabajo de extracción de las aguas es penoso, juzgando de los medios rudimentales que se emplean para elevarla de los pozos, y además es costoso el trabajo de limpia y desazolve en un terreno que se derrumba muy fácilmente. Aunque las aguas al infiltrarse atraviesan un terreno de naturaleza volcánica, la permanencia de estas aguas en contacto con numerosos guijarros calizos que se encuentran en muchos lugares al practicar los pozos, resultan muy cargadas de carbonatos de cal ó resultan saladas é impotables en diversos grados y lugares. Muchas veces se nota que en lugares muy vecinos unos pozos dan aguas muy buenas y otros muy saladas.

En vista de esta situación, hemos procurado averiguar si es posible emprender con provecho la apertura de pozos artesianos. La alimentación de las aguas artesianas es relativamente grande, pues que formando parte de las vertientes del elevado cerro de la Malintzi, donde las precipitaciones son abundantes, es de esperar que estas aguas sean abundantes en el interior, infiltrándose al través de las capas inclinadas de tobas que cubren las laderas de la montaña y que sigan en su curso inferior un trayecto análogo al del

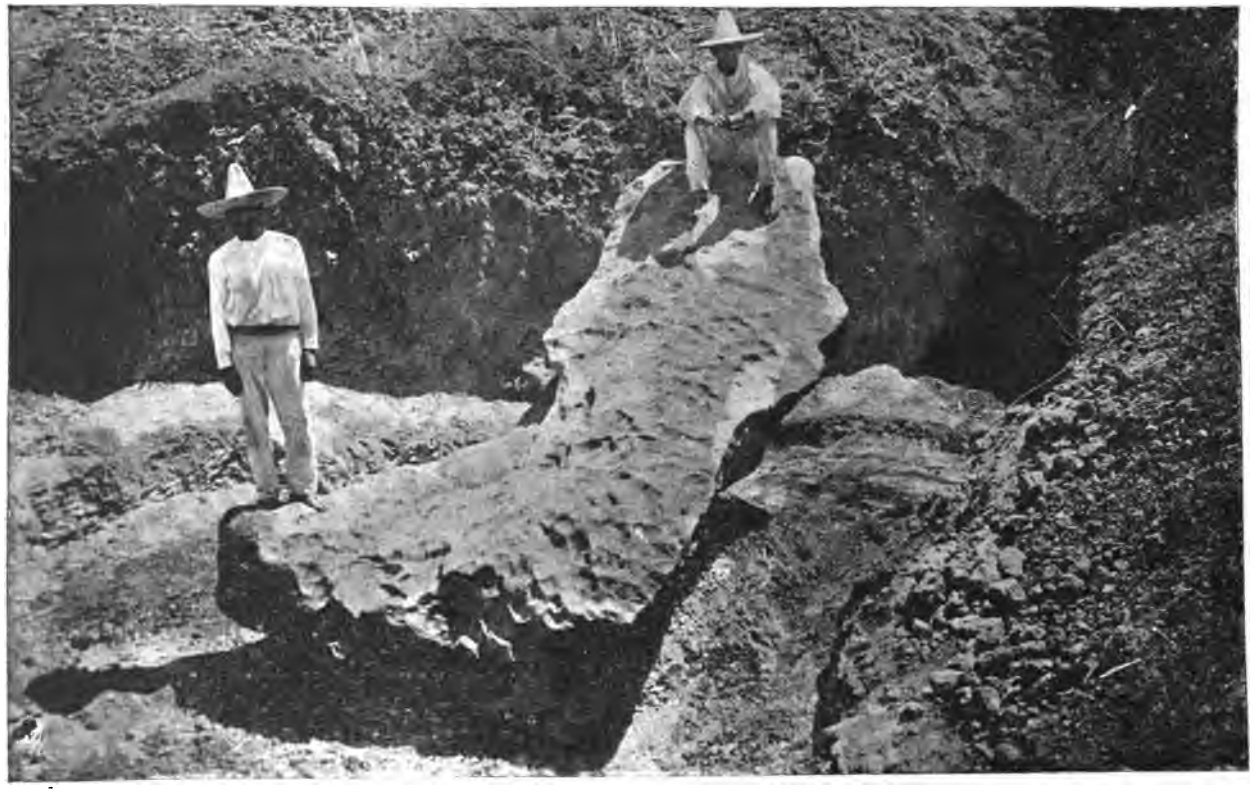
fondo del Valle de Amozoc, retenidas como estarían estas aguas al Sur, por la sierra de Amozoc, constituída principalmente de calizas. Pero la circunstancia de hallarse situado Amozoc casi sobre la línea de división de los dos valles antes mencionados y de que la inclinación de las capas del subsuelo corresponde á la doble inclinación del terreno en la superficie, lo que parece probable nos inducen á creer que sin embargo de poder existir estas aguas artesianas, no serán muy abundantes y que se alcanzarán á una profundidad considerable si se tiene en cuenta que las pendientes que han podido seguir en su circulación interior es muy fuerte, diferente de la del terreno en la superficie, que es la del material reciente arrastrado, procedente de los taludes de un volcán cuyo macizo resistente reviste la forma de un cono relativamente agudo.

Cuando hicimos nuestra visita á Amozoc, indicamos el lugar que á nuestro juicio pareció más conveniente para abrir un pozo artesiano de prueba, pues en esa época se contaba ya con los utensilios necesarios. El lugar que elegimos fué el barrio de San Dieguito, á mil doscientos metros al Este del pueblo de Amozoc. Del mismo modo se podría abrir un pozo de prueba al Oeste, á la salida del pueblo, á un lado del camino de Chachapa.

Si estas pruebas no dieran el resultado apetecido, podrían represarse las aguas en algunas barrancas que alojan torrentes en la época de lluvias, las que no distan mucho del pueblo; ó bien aprovechar el desnivel de la capa de agua de los pozos comunes, practicando en los lugares donde se encuentran los veneros más cerca de la superficie y aprovechando el desnivel muy sensi-

ble del terreno, tajos que no tendrían una gran longitud. En el angosto valle confluente de San Nicolás, se ha encontrado el agua á sólo tres metros de profundidad, con desnivel suficiente hacia Amozoc para extraer estas aguas por medio de un tajo, y creemos que sería posible abrir pequeños túneles y otros tajos en la región Sur y Sureste del pueblo de Amozoc.

Junio 29 de 1898.



Fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 5.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

INFORME

SOBRE

EL TEMBLOR DEL 16 DE ENERO DE 1902 EN EL ESTADO DE GUERRERO,

POR LOS

DRES. E. BÖSE Y E. ANGERMANN.

ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE MINERAL ASBESTIFORME

PROCEDENTE DEL RANCHO DEL AHUACATILLO,

Distrito de Zinapécuaro, E. de Michoacán,

POR EL ING. JUAN D. VILLARELLO.

MEXICO

OFICINA TIPOGRAFICA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO.

BETLEMITAS NUMERO 8.

1904

INFORME

SOBRE EL TEMBLOR DEL 16 DE ENERO DE 1902

EN EL ESTADO DE GUERRERO.

POR LOS DRES. E. BÖSE Y E. ANGERMANN.

El día 16 de Enero de 1902, á las 4 y 15 minutos de la tarde, hubo en el Estado de Guerrero un temblor que hizo surgir en la prensa de la Capital numerosos rumores sobre su fuerza y la destrucción de ciudades y poblaciones, pérdidas de vidas y de propiedad, etc. También se publicaron en los periódicos informes algo fantásticos sobre fenómenos curiosos, como la formación de nuevos volcanes, agrietamiento de la superficie terrestre, etc.

A continuación referimos los resultados del estudio del temblor, obtenidos por nosotros sobre el lugar. Primero tratamos de determinar el grado de la fuerza del temblor, según la escala de Forel-Rossi internacionalmente aceptada y la dirección y clase de los sacudimientos principales, basándonos en observaciones hechas en las ciudades más afectadas, es decir, Chilapa, Tixtla, Chilpancingo é Iguala.

En cuanto á la intensidad tuvimos que juzgar por el grado de la destrucción que sufrieron las casas de las ciudades citadas, considerando siempre su ligera y defectuosa construcción. Sobre esto tenemos que decir lo siguiente: sólo muy pocas casas, y estas mal construídas y viejas, se derrumbaron; la mayoría de las casas tenía el siguiente aspecto: grietas en las paredes, las cornisas habían caído, los techos de teja parcialmente, habiendo caído tejas y siendo movidas las vigas, las esquinas de las casas se habían abierto, pero esto á consecuencia de su mala construcción, especialmente la falta de amarres, siendo las casas simples construcciones de adobe. En las iglesias sufrieron principalmente las torres (Chilapa) y las bóvedas (Chilpancingo); la bóveda de la iglesia de Chilpancingo se derrumbó completamente á consecuencia de su mala construcción, mientras que las paredes sólidas casi quedaron intactas. Considerando la ligera construcción de las casas, no podemos utilizar directamente la escala de Forel-Rossi que está hecha para construcciones europeas; la escala tiene diez grados, siendo el décimo el que indica la mayor intensidad; considerando las condiciones especiales de las construcciones de Chilpancingo, podemos dar á este temblor el grado 5 ó 6.

La dirección y clase de los sacudimientos no los pudimos determinar, porque llegamos al lugar unas cuantas semanas después del temblor, y por esto no pudimos hacer las observaciones importantes que se pueden hacer directamente después del acontecimiento. Según las conclusiones que pudimos hacer de la dirección y distribución de las cuarteaduras en las paredes, del movimiento de las vigas en relación á sus apoyos, de las co-

lumnas de corredores, etc., podemos fijar la dirección de los sacudimientos para Chilapa, Chilpancingo y Tixtla, como N.-S.; mientras que en las poblaciones más lejanas se encuentran direcciones diferentes. Esto y la observación de que se sintió el temblor principalmente en las citadas ciudades, nos permite concluir que el epicentro estaba en aquella región, y que la causa del temblor era un movimiento de un block sobre una fractura de las direcciones E.-W., lo que coincide con la dirección general de las fracturas de aquella región. Como el temblor no era de fuerza muy grande, no se podía comprobar la línea exacta sobre la cual hubo el movimiento orogénico.

Hubo movimientos trepidatorios y oscilatorios, pero fuera de éstos probablemente hubo también otros, especialmente en Chilpancingo. Allí cayó la estatua del General Bravo hacia el N.; la estatua consiste de tres piezas, de las cuales se quedó sólo la inferior sobre el zócalo, y ésta, que consiste de una plancha con las dos piernas, giró unos 10 grados de Norte hacia Este; es lo más probable que esta rotación fué causada por un sacudimiento que vino oblicuamente de abajo, y no tangencialmente. También esto indica que Chilpancingo está cerca del epicentro.

Como nuestras observaciones no dan la seguridad deseable, y tampoco son suficientes para dar la situación del epicentro, para precisar la fuerza y la dirección del temblor, nos hemos visto obligados á hacer un cuestionario, y nos hemos acercado al Señor Gobernador del Estado, suplicándole que haga imprimir esta hoja, mandándola á las autoridades del Estado. Si este cuestionario nos proporciona algunos buenos datos, entonces po-

dremos ampliar un poco más nuestro estudio sobre el temblor.

Hemos reconocido á pie los alrededores de Chilpancingo, pero sin encontrar las menores huellas del temblor en el suelo.

Se trataba, pues, para nosotros, todavía, de estudiar en el terreno los fenómenos indicados en:

1.°—Los dos siguientes informes oficiales del Gobierno del Estado:

"En el pueblo de Ahuelican, solamente el templo sufrió ligeros deterioros, siendo de llamar la atención una grieta que resultó en su interior, que mide doce metros de longitud por tres decímetros de latitud."

"Se tiene conocimiento de que en la Cuadrilla del Bejuco, se estrelló un cerrito pequeño y un poco más abajo se abrió la tierra como de nueve pulgadas, y en este pueblo (Dos Caminos), en un punto que se denomina el Cerro de la Haciendita, también se abrió la tierra de igual número de pulgadas de anchura."

2.°—Un informe de periódico sobre oquedades crateriformes, que se habían formado durante el temblor en el camino entre Chilapa y Tixtla, cerca del lugar llamado Tlamalacatlolco, y de cuyo interior se habían desprendido vapores.

3.°—Una noticia verbal de parte de un minero americano, según la cual se había formado un nuevo volcán cerca de Atoyac (Costa Grande).

Comprobamos que no se confirmó ninguno de estos datos; la grieta de Ahuelican se refiere á una cuarteadura insignificante en la pared de la iglesia, la de Dos Caminos á un derrumbe producido en el borde empinado de un arroyo; el borde consiste de tierra floja con gran-

des pedruzcos de granito, lo que explica que el derrumbe se produjera no obstante la poca intensidad del temblor. La grieta del Bejuco no es más que una cuarteadura de unos 50 cm. de largo y un milímetro de ancho en un barro, en una loma, y fué producida probablemente por la desecación. El nuevo volcán de Atoyac se redujo á una detonación todavía no explicada, que fué oída por un hacendado alemán en el Otoño de 1901.

Sobre las siete oquedades crateriformes tantas veces citadas en los periódicos, podemos decir lo siguiente: Se encuentran éstas en el camino de Chilapa á Tixtla, cerca de la falda de Tlamalacatlolco. Son agujeros de forma irregular; su diámetro, en la parte superior, de 10.30 cm. (ahora ya están ensanchados por los arrieros), y una profundidad de 30.70 cm. No tienen nada que ver con fenómenos volcánicos, sino que fueron producidos, y esto sólo en parte, por el temblor. Según las noticias que recibimos de los vecinos, existían dos de estos agujeros ya antes del temblor, mientras que los otros se habrán producido del modo siguiente: Los agujeros se encuentran en el camino mismo, no en la roca *in situ*, sino en una especie de acarreo que consiste de grandes y pequeños pedruzcos de caliza, los cuales, con el tiempo, se han acumulado en la falda de la loma. En este detritus se ha hecho el camino; el material está bastante flojo y cuando el temblor produjo un sacudimiento relativamente fuerte, cayó la tierra en algunos lugares hacia abajo, en los intersticios, en los agujeros producidos así, cayeron piedras. de modo que en la superficie se formó una oquedad; quizá habría también raíces de árboles (y en un caso es esto seguro), que con el tiempo se han podrido, de modo que por el sacudimiento las pie-

dras que había sobre ellas podían caer para abajo. Nos hemos convencido que no hay diferencia notable entre la temperatura de los agujeros y la de la superficie del suelo. Si se ha observado que en la mañana la temperatura de los agujeros era más alta que la del aire sobre el suelo, se explica esto por la circunstancia de que el calor fué retenido durante la noche en los agujeros, mientras que el aire afuera podía enfriarse. Es seguramente un error la observación que hayan salido vapores de los agujeros; el dueño de la venta en el valle, al pie de la falda de Tlamalacatlolco, que ha observado los llamados vapores, nos contó que él no ha visto más que un remolino de polvo, que había ido en seguida á los agujeros; pero que no había podido observar vapor en ellos. En las paredes de los agujeros no pudimos observar nada que pudiera indicar la salida de vapores.

Todas las excursiones, que son ciertamente de interés para la geología del país, y que enriquecieron nuestros conocimientos geológicos de esta parte de la República, fueron de ningún valor para el objeto inmediato; la única observación que pudimos hacer, es que en varias partes de los caminos cayeron unos cuantos metros cúbicos de rocas, allí donde había un acantilado empinado ó desplomado.

Hay que tomar, pues, el temblor, por uno fuerte, pero de ninguna manera extraordinario, cuya intensidad y consecuencias fueron muy exagerados por los periódicos.

En cuanto al carácter y la causa del temblor, debemos observar que no hay ningún indicio para atribuirle un origen volcánico, sino que el temblor es el tipo de un movimiento tectónico, es decir, del movimiento de un

block de capas en la corteza terrestre, que todavía no está en su equilibrio; varias observaciones nuestras, sobre capas modernas levantadas, nos dan el derecho de decir que por lo menos en esta parte de México hay todavía movimientos orogénicos; que todavía no se acaba la formación de la montaña, y que por esto hay que esperar allí siempre temblores como consecuencia del movimiento de parte de la corteza terrestre.

Con lo anterior creemos haber cumplido con la comisión que nos fué dada; lamentamos que una ocasión tan favorable como ésta, para el estudio de un interesante fenómeno, no haya dado resultados más exactos, pero tropezábamos desde luego con la dificultad que los habitantes, en lo general poco cultos, no nos podían dar una relación clara de los acontecimientos, que no hay buenos relojes en el Estado para poder determinar la velocidad de las ondas, que los habitantes no registraron el tiempo exacto del acontecimiento, y que la construcción poco sólida y desigual de las casas no nos permitió determinar exactamente la dirección del temblor, y que éste, siendo relativamente insignificante, no produjo grietas, etc., en el suelo, que pudieran haber indicado la causa inmediata, la dirección, etc. Con los datos que tenemos ahora, no podemos ni determinar las isoseistas, y si las hojas cuestionarias no dan un resultado favorable, entonces no nos será posible utilizar científicamente los pocos datos que nosotros mismos hemos podido recoger sobre el terreno.

México, 22 de Mayo de 1902.

ESTUDIO

DE UNA MUESTRA DE MINERAL ASBESTIFORME

Procedente del Rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, Michoacán.

POR EL ING. DE MINAS JUAN D. VILLARELLO.

DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN.

La muestra del mineral es de color blanco amarillento, en algunas partes de textura hojosa, siendo las hojas flexibles, pero no elásticas, opaca, dócil, se adhiere á la lengua, su dureza es de 2.5 y su densidad 2.18. Por su aspecto físico se asemeja al corcho fósil de A. del Río.[1]

***

La análisis cualitativa de este mineral indicó la presencia de los siguientes componentes:

SiO^2, Al^2O^3, Fe^2O^3, CaO, MgO, Na^2O, K^2O, CO^2.

Secada una parte de la muestra en la estufa, á la temperatura de ebullición del agua, perdió por

Humedad: 2.56%.

1 Elementos de Orictognosia, 2ª ed., Filadelfia, 1832, pág. 412.

Estando ya seca la muestra se procedió á hacer la análisis cuantitativa. Se pulverizó un fragmento, se pesó del polvo un gramo y se calentó al rojo en la mufla, se pesó el residuo, y la pérdida de peso debida á la expulsión del ácido carbónico y de la agua de combinación, fué:

$$CO^2+H^2O=19.35\%.$$

Se pesó otro gramo de la muestra secada ya en la estufa, se trató por ClH, y por pérdida de peso se cuanteó el CO^2, resultando ser como promedio de dos operaciones:

$$CO^2=2.60\%.$$

y por lo tanto:

$$H^2O=19.35-CO^2=19.35-2.60=16.75\%.$$

Se concluyó el ataque de la substancia con ClH y un poco de AzO^3H, se evaporó á sequedad, se humedeció el residuo con ClH, se evaporó de nuevo, y por último se trató por ClH y H^2O, quedando un residuo que después de lavarlo y secarlo en la estufa se pesó, resultando:

Residuo insoluble en ácidos=69.39%.

La disolución ácida se trató por $ClAzH^4$ y un exceso de AzH^3 y se separó y lavó el precipitado de Fe^2O^3 y Al^2O^3. En esta segunda disolución se precipitó CaO con C^2O^4 $(AzH^4)^2$ se lavó el precipitado y se pesó CaO al estado de CO^3Ca. Separada ya la cal se precipitó MgO en la mitad de la disolución anterior con $Ph^2O^5Na^2$, y se pesó MgO al estado de Ph^2O^72Mg. En la otra mitad de la disolución se precipitó MgO con agua de barita, se filtró y lavó, y se quitó el exceso de BaO con SO^3, se filtró y se lavó, y evaporando después la disolución á se-

quedad y calentando se volatilizaron las sales amoniacales, y se pesaron los álcalis al estado de sulfatos. Se calentaron después varias veces al rojo los sulfatos anteriores con $ClAzH^4$ hasta peso constante, se disolvió el residuo en agua y se precipitó y pesó K^2O al estado de ClK, Cl^4Pt, calculando después Na^2O por diferencia. El precipitado de Fe^2O^3 y Al^2O^3 se disolvió en ClH, se precipitó con K^2O, se filtró, lavó, calcinó y pesó el precipitado de Fe^2O^3, y la disolución se neutralizó con ClH, y con AzH^3 se precipitó Al^2O^3, precipitado que se lavó, calcinó y pesó.

El resultado del cuanteo de la parte soluble en los ácidos y como promedio de dos operaciones, fué el siguiente:

CO^2	= 2.60 p.%
Fe^2O^3	= 1.91
Al^2O^3	= 2.49
CaO	= 4.61
MgO	= 1.56
Na^2O	= 0.52
K^2O	= 0.13
H^2O [combinada]	= 16.75
Suma.....	30.57 p.%

El residuo, insoluble en los ácidos, se fundió con cuatro partes de carbonato de potasa sodado, se trató en seguida por ClH y H^2O, se evaporó á sequedad, se humedeció el residuo con ClH, se evaporó de nuevo á sequedad, y luego se trató por ClH y H^2O. La parte insoluble, formada por SiO^2 después de filtración y lavado,

se calcinó y pesó. En la disolución ácida se precipitó con AzH^3 la Al^2O^3 y se lavó, calcinó y pesó.

El resultado del cuanteo de la parte insoluble en los ácidos, como promedio de dos operaciones, fué el siguiente:

$$SiO^2 = 52.84\%$$
$$Al^2O^3 = 16.53$$
$$\text{Suma} \ldots\ldots\ldots 69.37\%$$

Por lo tanto el resultado del cuanteo total del mineral fué el siguiente:

SiO^2	= 52.84 p.%	Parte soluble en los ácidos	= 30.57 p.%
Al^2O^3	= 19.02	Parte insoluble en los ácidos	= 69.37
Fe^2O^3	= 1.91		
CaO	= 4.61		
MgO	= 1.56		
Na^2O	= 0.52	Suma	99.94 p.%
K^2O	= 0.13		
H^2O	= 16.75		
CO^2	= 2.60		
Suma	99.94 p.%		

El compuesto anterior no puede considerarse como una verdadera especie mineral, y por lo tanto para determinar su fórmula aproximada puede procederse de la manera siguiente:

El CO^2 se combina á CaO para formar CO^3Ca. La cantidad de CO^3Ca será:

$$CO^3Ca = \left\{ \begin{array}{l} CO^2 = 2.60 \\ CaO = 3.31 \end{array} \right\} = 5.91 \text{ p.\%}$$

como se ve por el siguiente cálculo:

Peso atómico de CO^2.		Peso atómico de CaO.		Cantidad de CO^2 encontrada.		Cantidad de CaO que le corresponde.
44	:	56	: :	2 60	:	x = 3.31

Restando 3.31 de 4.61%, cantidad de CaO encontrada, quedará 1.30% de CaO al estado de silicato. En este silicato las cantidades relativas de oxígeno combinado con la siliza, los protóxidos y los peróxidos, son los siguientes:

Oxidos.		Peso atómico.		Oxígeno que contiene.		Cantidad encontrada por la análisis.		Oxígeno que le corresponde.	
SiO^2		44	:	16	: :	52.84	:		19.21
Fe^2O^3	Al^2	160	:	48	: :	1.91	:	0.57	9.50
Al^2O^3		102.2	:	48	: :	19.02	:	8.93	
CaO		56	:	16	: :	1.30	:	0.37	
MgO		40.4	:	16	: :	1.56	:	0.62	
Na^2O	H^2	39.05	:	16	: :	0.52	:	0.21	16.13
K^2O		50.14	:	16	: :	0.13	:	0.04	
H^2O		18	:	16	: :	16.75	:	14.89	

Tomando como unidad la tercera parte del oxígeno contenido en los peróxidos ó sea 3.17, la relación será la siguiente:

5.09 : 3 : 6.05

y se puede admitir

5 : 3 : 6

ó sea

$$5H^2O+Al^2O^3+3\ SiO^2$$

y por lo tanto la fórmula aproximada del silicato será:

$$H^{10}Al^2Si^3O^{14}$$

Y por lo mismo el mineral analizado se compone de:

$$CO^3Ca + H^{10}Al^2Si^3O^{14}$$
$$\text{en} \qquad \text{en}$$
$$(5.91\%) + (94.03\%) = 99.94.$$

***

Por los resultados de la análisis puede decirse: que la muestra mineral en estudio es un hidrosilicato de alúmina, en el cual una pequeña cantidad de agua de combinación está sustituída por K^2O Na^2O MgO CaO; y una cantidad también pequeña de alúmina está sustituída por Fe^2O^3.

Este mineral pertenece por lo anterior á la división del kaolín, y sin ser igual se aproxima á la Montmorillonita, la cual contiene mayor cantidad de agua.

ESTUDIO INDUSTRIAL.

La muestra mineral cuya análisis antecede, tiene alguna semejanza por sus caracteres físicos, con cierta variedad de asbesto, y por este motivo se hicieron otros experimentos para poder determinar su valor comercial, pues las aplicaciones industriales de los minerales asbestiformes aumentan de día en día, y el consumo de estos productos está representado por cifras respetables, como puede comprenderse por la siguiente estadística, relativa á los Estados Unidos del Norte.

	Producción.		Importación.		
Años.[1]	Toneladas.	Valor por tonelada.	Manufacturado	Sin manufacturar.	Total.
1890	64	$ 71.25	$ 5342	$ 252557	$ 257899
1891	60	66.00	4872	353589	358461
1892	91	54.00	7209	262433	269642
1893	109	55.00	9403	175602	185005
1894	240	18.91	15989	240029	256018
1895	602	19.66	19731	225147	244878
1896	650	19.49	15654	229084	244738
1897	762	16.99	10570	264220	274790
1898	803	16.72	12899	287636	300535
1899	827	16.76	8949	303119	312068
1900	998	16.54	24155	331796	355951
1901	678	19.91	24741	667087	691828

Los números anteriores demuestran la importancia industrial que tienen ya los minerales asbestiformes, é indican la conveniencia práctica que ofrecen las exploraciones y estudios relativos á estos productos naturales.

Comparando desde el punto de vista químico la muestra en estudio con los minerales asbestiformes, se llega al siguiente resultado:

La composición química de los "asbestos" puede conocerse por estos datos:

1 The Mineral Industry. Tomo VIII, 1900, pág. 60; tomo IX, 1901, pág. 44, y tomo X, 1902, pág. 43.

LOCALIDADES.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	K^2O	Na^2O	SO^3	H^2O
I. Canadá [1]	39.04	.....	0.25	2.10	0.51	42.57	0.09	0.22	0.10	15.2
II. Idem	41.56	3.42	0.11	6.67	0.83	33.38	0.11	0.30	0.08	13.15
III. Africa	43.61	0.21	16.57	12.15	0.89	7.02	3.06	2.14	0.06	14.30
Griqualand West [2]	51.10	.....	.....	35.80	.....	2.03	.....	6.09	.....	3.90

1 The Mineral Industry, 1899, Tomo VII, pág. 62.

2 „ „ „ 1899, Tomo VII, pág. 63.

Por los datos anteriores se comprende que los minerales asbestiformes son hidrosilicatos de magnesia y protóxido ó peróxido de fierro con muy poca alúmina, y cuando contienen poca magnesia aumenta entonces notablemente la proporción del peróxido ó protóxido de fierro, sin aumentar la cantidad de alúmina. En el mineral en estudio ahora, la cantidad de magnesia es muy pequeña, así como la de peróxido de fierro, y en cambio contiene bastante alúmina, y por lo mismo sólo puede considerarse como un hidrosilicato de alúmina y no como hidrosilicato de magnesia. En vista de lo anterior puede decirse que la muestra en estudio, por su composición química, no es verdadero asbesto.

La composición química de los asbestos afecta las condiciones físicas del mineral, pero no depende de ella, de una manera directa, el valor comercial de estos productos.[1] En efecto, en el uso comercial se aplica el nombre de asbesto, según dice Mr. George P. Merrill,[2] cuando menos á cuatro diferentes minerales, como son: la amphybola (tremolita), la serpentina (amianto), la crocidolita asbestiforme, y principalmente anthophylita fibrosa, minerales distintos que tienen como única propiedad común, su estructura fibrosa y su mayor ó menor resistencia al fuego y á la acción de los ácidos.

El mineral de que me ocupo ahora no es un verdadero asbesto por su composición química, pero en vista de lo anterior hay que estudiar sus condiciones físicas, con objeto de ver si puede tener las mismas aplicaciones que los referidos minerales asbestiformes.

1 The Mineral Industry, 1893, tomo II, pág. 37 y tomo IV, pág. 40.

2 Proceedings of the United States National Museum. Washington, 1895, tomo XVIII, págs. 281-289.

Entre las principales aplicaciones industriales de los "asbestos" figuran las siguientes:

Fabricación de la lana mineral, tejido con el cual se confeccionan vestidos incombustibles y cubiertas para calderas y tubos conductores de vapor.

Fabricación de pinturas, decoraciones, y también estucados refractarios, utilizables en las construcciones, así como en las cajas fuertes ó de seguridad.

Fabricación de cuero incombustible y de papel resistente á la acción del fuego, aunque éste es de poca solidez y duración.

Fabricación de un cartón susceptible de recibir al estado líquido metales fundidos á elevada temperatura y cuyo cartón se aplica para la confección de moldes.

Fabricación de mechas de lámpara que no son susceptibles de carbonizarse, y de estopa utilizada en las maquinarias en los lugares expuestos al frotamiento y temperatura elevada.

Fabricación del producto llamado "asbestolith," de invención alemana, y que se usa como cemento para pisos, los cuales resultan: impermeables al agua, con la elasticidad de la madera, con la dureza del cemento común, duraderos como los de asfalto, muy ligeros, poco conductores del sonido, y tan resistentes al desgaste como los de piedra.

Para todas las aplicaciones anteriores en las cuales se aprovecha la infusibilidad y poca conductibilidad de los "asbestos" para el calor, se requieren minerales de estructura fibrosa y cuya fibra no pierda su flexibilidad á temperatura elevada.[1] Para estas aplicaciones

1 The Mineral Industry. Tomo II, 1893, pág. 40, y tomo IV, 1895, pág. 40.

se emplea: la anthophylita (silicato magnesiano ferroso) de textura fibrosa, las variedades fibrosas también de la amphybola (silicato de cal y magnesia), y la crisolita (hidrosilicato de magnesia). Las fibras de esta última, aunque más cortas que las de variedades amphybólicas, pues tienen 5 en vez de 8 centímetros de longitud, son superiores por su resistencia y elasticidad, y por consiguiente sus aplicaciones son mucho mayores. A lo anterior debo agregar que: de la longitud, color y finura de la fibra depende principalmente el valor comercial de los minerales asbestiformes;[1] y que son de poco valor los minerales duros, de fibra corta, poco resistente y con textura de madera.[2]

La muestra en estudio es de textura hojosa, como dije antes, razón por la cual se asemeja al cuero de montaña ó al corcho fósil, y por cuyo motivo no puede emplearse en ninguna de las aplicaciones anteriores, para las cuales es indispensable la textura fibrosa. Por las razones anteriores y para las aplicaciones ya indicadas puede decirse que: la muestra en estudio, considerada desde ese punto de vista, no tiene valor comercial alguno.

Otra clase de aplicación de los "asbestos" es la que se refiere á la industria química.

Los asbestos que resisten á la acción de los ácidos y que se requieren para la industria química, son aquellos en los cuales la proporción de las bases á la siliza es de 1 : 1, ó de la fórmula $RSiO^2$ (R siendo generalmente magnesia).[3] Por esta razón los asbestos de ser-

1 The Mineral Industry. Tomo IV, 1895, pág. 40, y tomo VII, 1899, pág. 60.
2 The Mineral Industry. Tomo VI, 1898, pág. 49.
3 The Mineral Industry. Tomo VI, 1898, pág. 50.

pentina se usan principalmente para tejidos, y los de amphybola, que son resistentes á los ácidos, se emplean en la industria química.

En la muestra en estudio la proporción de las bases á la siliza está muy lejos de la relación 1 : 1 pues es de 2 : 1, y el mineral es atacado por ClH, perdiendo por la acción de este ácido 30.57 por ciento de su peso y 19.54 por ciento de su volumen, como se ve por el siguiente cálculo:

100 partes en peso de este mineral representan un volumen de

$$V = \frac{P}{D} = \frac{100}{2.18} = 45.87.$$

Después de atacar el mineral por los ácidos, la densidad del residuo es de 1.88, y el volumen será

$$V' = \frac{100 - 30.57 \text{ (parte soluble)}}{1.88} = \frac{69.43}{1.88} = 36.93$$

y por lo tanto la pérdida por ciento en volumen será

$$45.87 : 45.87 - 36.93 :: 100 : x = 19.49.$$

Esta muestra mineral es comparable, por la acción que ejercen los ácidos sobre ella, con los asbestos del Canadá, cuya composición indiqué antes, pues el número I por la acción de los ácidos pierde 41.24 por ciento de su peso, y el número II pierde 37.48 por ciento, cuando el asbesto africano número III sólo pierde por la misma acción 12.62 por ciento.[1] Los asbestos del Canadá números I y II no son aplicables para la industria química, pero su textura fibrosa los hace muy aprecia-

1 The Mineral Industry. Tomo VII, 1899, pág. 62.

dos para las fabricaciones antes mencionadas. Para estas últimas aplicaciones se usan también los asbestos de Iaho,[1] los que se descomponen igualmente por la acción de los ácidos, disolviéndose en parte Al^2O^3 y MgO, pero el residuo queda formado por fibras enteramente blancas, reunidas en hacecillos planos. La muestra mineral de que me ocupo, por la acción de los ácidos, queda enteramente blanca y conserva siempre su textura hojosa, pero sufre una pérdida de peso considerable, como dije antes.

Por las razones anteriores y para las aplicaciones químicas, el mineral en estudio no tiene valor comercial alguno.

Otra de las aplicaciones y relativamente reciente de los "asbestos" es la fabricación de ladrillos refractarios. Estudiando la muestra de que me ocupo para utilizarla en esta última aplicación, se llega á los siguientes resultados:

A la temperatura del rojo este mineral comienza á fundirse en algunos lugares; se endurece notablemente, pues pasa de 2.5 á 4.5 ó 5 grados y se contrae bastante, como puede verse por el siguiente cálculo:

100 partes en peso de este mineral representan un volumen de 45.87 como vimos antes; al someterse al mineral á la temperatura del rojo, pierde 19.35 por ciento de su peso, como ya se dijo, y la densidad del producto quemado es de 2.44. Por lo tanto, el volumen del mineral quemado es

$$V'' = \frac{100 - 19.35}{2.44} = \frac{80.65}{2.44} = 33.05.$$

1 G. P. Merrill. Loc. cit., pág. 285.

La contracción del volumen es por lo mismo 28 por ciento, puesto que

$$45.87 : 45.87—33.05 : : 100 : x=27.95.$$

El principio de fusión que experimenta este producto natural á la temperatura del rojo, es debido sin duda á la presencia de la cal y el peróxido de fierro, y en general, á los compuestos solubles en los ácidos, pues calentando al rojo el residuo que se obtiene después del ataque por los ácidos, no se observa ningún principio de fusión, aunque sí varían las propiedades físicas de este residuo. En efecto, después del tratamiento por los ácidos es blanco, de textura hojosa, algo quebradizo, su densidad es de 1.88 y su dureza de 2.5; y después de calentarse al rojo conserva su color blanco y su textura hojosa; pero se vuelve más pesado y más duro, su densidad es de 2.15 (casi la del producto natural) y su dureza es de 4. La contracción de volumen que experimenta este residuo por el calentamiento al rojo es de 12.56 por ciento, como lo indica el siguiente cálculo:

100 partes en peso del producto mencionado representan un volumen de

$$V''' = \frac{100}{1.88} = 53.19.$$

Como por la acción del calor no se reduce el peso de este residuo, el volumen después del calentamiento será:

$$V''' = \frac{100}{2.15} = 46.51,$$

y por lo tanto la contracción en volumen por ciento será:

$$53.19 : 53.19—46.51 : : 100 : x=12.56.$$

Por lo mismo, partiendo del compuesto natural hasta llegar á este producto, que ha sufrido ya la acción de los ácidos y después el calentamiento al rojo, la reducción en peso y volumen será como sigue:

100 partes en peso del mineral, representan un volumen de 45.87, siendo la densidad 2.18. Por la acción de los ácidos, las 100 partes en peso del mineral se reducen á 100—30.57=69.43, que representan un volumen de 36.93, siendo la densidad 1.88.

Por el calentamiento al rojo el peso anterior 69.43 no cambia, pero como la densidad del producto calcinado es 2.15, el volumen 36.91 se reducirá á

$$VD = V'D'; \; V' = \frac{VD}{D'} = \frac{36.93 \times 1.88}{2.15} = \frac{69.43}{2.15} = 32.29.$$

Las 100 partes en peso se reducen á 69.43, y el volumen 45.87 se reduce á 32.28. La pérdida total en peso es por lo tanto de 30.57 por ciento, y la pérdida en volumen es de 29.62 por ciento, puesto que:

$$45.87 : 45.87—32.28 : : 100 : x=29.62.$$

Conocidos ya los datos de pérdida de peso y contracción de volumen en diversas circunstancias, debo agregar que tratando este mineral por agua aun caliente, no se ablanda, ni mucho menos adquiere plasticidad; y por otra parte, no es fácil su pulverización, la cual se llega á conseguir por molienda de percusión, pues por los golpes se exfolia el mineral en laminitas quebradizas.

Para tener una idea acerca de la calidad del ladrillo refractario fabricado con este mineral como revoltura y en comparación con el fabricado con verdadero asbesto, son interesantes los siguientes datos:

Un ladrillo fabricado con "gypsine," material compuesto de cal hidráulica, arena y asbesto, sometidos á una temperatura de 1140° c. durante una hora, no experimenta alteración alguna; y además la temperatura de la superficie, opuesta á aquella en que se aplica el fuego, nunca llega á ser suficiente para encender un cerillo.[1] En cambio, si se toma un fragmento del mineral en estudio, de dos centímetros de grueso, y se calienta por un lado á la temperatura de 400° c., al cabo de media hora la temperatura del lado opuesto, ó sea dos centímetros de distancia del lugar de aplicación del fuego, es de 78° c., siendo la temperatura ambiente 22° c. y el mineral experimenta en la parte más caliente un principio de fusión.

Por lo anterior se comprende que para la fabricación de ladrillos refractarios, este mineral tiene un valor comercial muy inferior al de los minerales asbestiformes antes mencionados.

Para terminar este estudio, diré que: aprovechando la infusibilidad y poca conductibilidad de los "asbestos" para el calor, se emplean para resguardar del fuego las puertas de fierro de algunos hornos y para evitar la irradiación del calor de las calderas, para lo cual se interponen minerales asbestiformes entre el caldero y la mampostería que lo cubre. Teniendo en cuenta los datos relativos á fusibilidad y conductibilidad para el calor de la muestra en estudio, puede decirse que: para esta última aplicación el valor comercial de esta muestra es también inferior al de los minerales asbestiformes.

1 The Mineral Industry. Tomo X, 1902, pág. 44.

CONCLUSIONES.

Resumiendo todo lo anterior, se pueden indicar las siguientes conclusiones:

1.ª La muestra estudiada es un hidrosilicato de alúmina, cuya composición puede expresarse por la siguiente fórmula:

$H^{10}Al^{2}Si^{3}O^{14}+CaCO^{3}$, pertenece á la división kaolín y se aproxima á la montmorillonita.

2.ª Por algunas de sus condiciones físicas esta muestra se asemeja á algunos minerales asbestiformes, pero se diferencia notablemente de ellos por su composición y propiedades.

3.ª Las aplicaciones industriales de este mineral son reducidas y puede usarse en la fabricación de ladrillos relativamente refractarios, y en los calderos para evitar en cierta parte la irradiación del calor. La fabricación de los ladrillos será costosa.

4.ª El valor comercial de este hidrosilicato es relativamente pequeño é incomparable con el de los minerales asbestiformes.

Nota.—Las conclusiones anteriores se refieren únicamente al ejemplar estudiado, sin poder alcanzar mayor extensión, porque el asbesto se considera como un mineral secundario,[1] producido por el proceso de uralitización, y sin tener datos litológicos de la región sería aventurado generalizar las conclusiones anteriores á todos los productos, aunque semejantes, de la misma localidad.

México. Instituto Geológico, Marzo 29 de 1903.

1 G. P. Merrill. Loc. cit., pág. 285.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 6.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

ESTUDIO

DE LA

HIDROLOGIA INTERNA

DE LOS

ALREDEDORES DE CADEREYTA MENDEZ,

ESTADO DE QUERETARO,

POR EL INGENIERO DE MINAS

JUAN DE D. VILLARELLO.

MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

BETLEMITAS NUMERO 8.

1904

ESTUDIO DE LA HIDROLOGIA INTERNA

DE LOS ALREDEDORES DE

CADEREYTA MENDEZ

ESTADO DE QUERÉTARO.

POR EL ING. DE MINAS JUAN D. VILLARELLO.

La ciudad de Cadereyta, cabecera del Distrito y municipio de su nombre, se encuentra en el Estado de Querétaro, á sesenta kilómetros al N.E. de la Capital del Estado. Rodean á la ciudad: los pueblos de Tetillas, Boyé y Palmar; las haciendas de Zituní, Santa Bárbara, Rincón, Ranchito, Quintillé, La Cueva, Tovares; y más distantes se hallan Las Tusas, Nopalera, Los Charcos, El Ciervo y Tunas-blancas. Estas haciendas y los ranchos: La Mesa, Mintejé, Boñú, Corral blanco y otros, forman la municipalidad de Cadereyta, la cual se encuentra limitada: al Norte, por la de Vizarrón; al Poniente por las de Tolimán y Bernal; al Sur, por la de Tequisquiapan; y al Este, por el Estado de Hidalgo.

La ciudad de Cadereyta principalmente, y la munici-

palidad toda, hoy recienten la falta de lluvias en dos años pasados; y á la vez que la gente emigra por esa justa causa, los labradores contemplan sus tierras, antes ricas, hoy muertas por escasez de agua, escasez que motiva su desaliento y grandes pérdidas. Causa tristeza, en verdad, recorrer ahora aquella región, y ver las magníficas tierras de la llanura de Cadereyta del todo secas, perdidas por completo las cosechas, muriéndose el ganado, y teniendo la población que hacer uso de las aguas, muchas veces infectas, que se recogen en varios pequeños bordos. Ante esta situación tan desoladora, cuando toda aquella región necesita agua, y con urgencia, cuando el progreso de aquella comarca sólo depende de esta circunstancia, se formó una Compañía, presidida por el señor Cura de Cadereyta, Don Julián Muñoz, é integrada por los hacendados Sres. Baltasar Ugalde y Leopoldo Llaca, Compañía bienhechora que se propuso abrir varios pozos artesianos, los que al dar salida á las aguas subterráneas que se creía existieran en esa región, salvarían las dificultades todas, asegurarían el éxito á la agricultura, y ayudarían al progreso de aquellas poblaciones.

Constituída ya la Compañía á que me refiero, tuvo ésta el buen juicio de acudir en consulta, ante todo al geólogo, para que él, único poseedor de los conocimientos apropiados para el caso, rectificara ó ratificara la creencia entonces existente, acerca de la presencia de aguas subterráneas en aquellas regiones, é indicara, en caso favorable, los puntos mejores para la apertura de los referidos pozos. Con ese motivo fué consultado este Instituto Geológico, que como es sabido, no se dedica tan sólo al estudio de la geología pura, sino también,

y con gran empeño, á las múltiples aplicaciones de esa ciencia, á la geología aplicada, la cual prestará siempre poderosa ayuda, tanto á la agricultura como también á la industria minera.

El Instituto Geológico, con objeto de prestar su valioso auxilio á los hacendados de la región de Cadereyta, y con especialidad á los vecinos de esa ciudad, me favoreció con la comisión de hacer el estudio hidrológico de la zona comprendida en veinte kilómetros alrededor de Cadereyta, ó sea toda la municipalidad de este nombre, y de indicar en su caso la mejor manera de captar las aguas subterráneas. Distinguido con tan honrosa comisión por una parte, y deseoso por otra de cumplimentarla de la mejor manera que me fuera posible, exploré con método, trabajé con empeño, estudié con atención, y para proceder en orden, me ocupé: primero, de la topografía de aquella zona, principalmente de la orografía; estudié en seguida la geología de la región, para dedicarme después á las investigaciones de la hidrología interna ó hidrología dinámica, como la llama Mr. Van den Broeck; y en vista de los estudios anteriores, pude resolver la cuestión tan delicada como complexa que me fué propuesta, y cuya resolución era esperada con verdadero interés y gran entusiasmo por los vecinos de Cadereyta.

Terminados ya mis trabajos, y para dar cuenta de mi difícil cometido, me es grato presentar este estudio, en el que me ocuparé: de la topografía, hidrografía, geología é hidrología dinámica de la municipalidad de Cadereyta, para indicar al fin las conclusiones á que llegué, y que me fué honroso comunicarlas, tanto á los señores miembros de la Compañía mencionada, como á

los vecinos de la simpática población de Cadereyta Méndez.

Topografía de la región.

Pasado el valle de San Juan del Río, y dejando atrás y hacia el Sur, el muy fertil de Tequisquiapan, comienza el ascenso del terreno en muy suave pendiente, plano ligeramente inclinado que se eleva de la hacienda de Santillán para la Mesa de Barrera, situada á 245 metros sobre la referida hacienda. En este plano inclinado se encuentran: las haciendas del Ciervo, Tunas blancas, y los ranchos de Corral blanco, Taxbatá y otros.

De la Mesa de Barrera, y descendiendo 70 metros con fuerte pendiente, se llega á la Ciudad de Cadereyta y al llano del mismo nombre. Este pequeño valle de seis por ocho kilómetros, es enteramente cerrado, y en él se encuentran, además de la ciudad de Cadereyta, las haciendas de Zituní, Santa Bárbara, Rincón, Ranchito, La Cueva, y el rancho de Boñú.

Limitan al valle de Cadereyta: por el Poniente, la Mesa de Barrera, y los cerros de La Magdalena, San Gaspar y La Florida, todos de poca elevación; por el Norte, los cerros de Santa Bárbara; por el Oriente, el cerro Frío, los de El Rincón, el del Ranchito, y el muy elevado cerro Mintejé; por el Sur, el cerro de La Cueva, y la Loma Chata.

La Mesa de Barrera, que se extiende del cerro de La Magdalena para la Loma Chata, es la anchurosa muralla que separa al valle de Cadereyta de la planicie inclinada, en la cual se encuentra la hacienda del Ciervo, y forma, por lo mismo, una zona de separación de las aguas pluviales.

De la Mesa de Barrera, bajando hacia el Suroeste, por el nacimiento del arroyo que lleva sus aguas á la hacienda del Ciervo y á la de La Tortuga, se llega á Tetillas, pueblo que se encuentra á las faldas de dos cerros elevados puntiagudos, que motivan ese nombre, y está 40 metros abajo de Cadereyta, ó sea á 110 metros abajo de la Mesa de Barrera.

De la Mesa de Barrera, siguiendo por el cerro de La Magdalena, hacia el Norte, se encuentra un puerto de poca altura sobre Cadereyta, y que une á los cerros antes mencionados con los de La Caja y Santa Bárbara, los cuales, mucho más elevados, cierran, como he dicho, al valle de Cadereyta por la parte Norte.

La Loma Chata, al Sur, y á 50 metros arriba de Cadereyta, tiene una meseta bastante extensa, como la Mesa de Barrera, y se eleva en seguida por la hacienda de Tovares hacia el Sur, para unirse con los cerros de Loveras, bastantes elevados, y que en suave pendiente descienden por Charcón hasta el río de San Juan.

El puerto del Rincón, al Noreste, y á 140 metros arriba de Cadereyta, une á los cerros de Santa Bárbara con los llamados Frío y Cantón, y desciende por el Este al arroyo de San Juan de la Rosa. Este arroyo se encuentra al pie de la elevada serranía de ese nombre, la cual se extiende del cerro Piloncito para los de Vizarrón; y al unirse con los cerros del Rincón, al Oeste del llamado Piloncito, forma una extensa y profunda rinconada que recoge las aguas de San Juan de la Rosa y de las faldas Noreste de los cerros del Rincón.

Hacia el Oriente de Cadereyta se acentúa mucho más el relieve del terreno, pues se eleva éste primero suave-

mente por los cerros del Ranchito, para levantarse rápido, en seguida, hasta el rancho de La Mesa, á 345 metros sobre Cadereyta, y de allí hasta las elevadas cimas del Mintejé. Descendiendo de este cerro por su falda oriental, se llega á la hacienda de Las Tuzas, la cual se encuentra en una planicie ligeramente inclinada, y que baja hacia Vizarrón, pueblo que se encuentra á 27 metros sobre Cadereyta, y atrás, ó sea al Noreste de la serranía de San Juan de la Rosa, antes mencionada.

Siguiendo de la hacienda de Las Tuzas hacia el Noreste, se encuentran los cerros de Sombrerete, La Yerbabuena y Santa Inés, los cuales conducen á la muy elevada serranía del Doctor.

Saliendo de Cadereyta por el Sureste, y después de elevarse el terreno 30 metros en el rancho de Los Espinos, se encuentra un pequeño llano que pertenece al pueblo de Boyé, llano que está al mismo nivel que el de Cadereyta, separado de éste por la pequeña elevación en que se encuentran los ranchos de Boñú y Los Espinos, y también completamente cerrado; pues por el Poniente está separado, como he dicho, del llano de Cadereyta, por el Norte lo limitan las faldas del Mintejé, por el Oriente las del cerro del Palmar, y por el Sur los cerros de la hacienda de Quintillé.

Al Oriente del pueblo de Boyé, se encuentra el cerro del Palmar, en cuya falda Norte está el pueblo del mismo nombre, y de aquí el terreno ligeramente accidentado, comienza á descender hasta la barranca acantilada y profunda, cuyo fondo sirve de lecho al río de San Juan. En efecto, del Palmar para el Oriente, se encuentra el cerro Picudo y La Mesa del León, cuyas faldas descienden al río de San Juan; del Palmar para el Sur-

este, dejando al Poniente los llanos de la hacienda de Tovar, el terreno desciende para La Nopalera, hacienda que está 140 metros abajo de Cadereyta; y después, más al Sur, y dejando al Este los cerros elevados del Frontón, y El Colorado, cercanos á la hacienda de Ziquiá, el terreno baja hasta el borde alto de la barranca de Taxhidó, borde que se encuentra á 250 metros abajo de Cadereyta. En este lugar la profundidad de la barranca de San Juan es de 155 metros, y está acantilada en su mayor parte. De la Nopalera para el Sur, el terreno desciende en pendiente suave hasta Patehé, ranchería que se encuentra á 240 metros abajo de Cadereyta; y de esa ranchería, con mayor pendiente, baja el terreno hasta el río de San Juan, que en este punto, ó sea en los manantiales de Patehé, se encuentra á 395 metros abajo de Cadereyta.

Separando los cerros de Quintillé y Tovares, se encuentra la barranca de Huachití, que baja para el río de San Juan, al Poniente de Patehé y nace de una planicie cercana á la Loma Chata.

La anterior descripción topográfica puede resumirse de la siguiente manera: La ciudad de Cadereyta se halla situada en un valle cerrado, que: al Poniente está limitado por las pequeñas elevaciones llamadas cerro de La Magdalena y Mesa de Barrera, de las cuales, y hacia el Oeste, desciende el terreno con suavidad hasta el valle de Tequisquiapan; al Norte, está dominado por los cerros de Santa Bárbara y El Rincón, cuyas faldas hacia el Norte descienden al arroyo de San Juan de la Rosa, en un lugar casi á nivel de Cadereyta; al Oriente lo limita el escarpado cerro Mintejé, cuyas faldas orientales descienden hacia Las Tuzas; y por el Sur

está dominado por la Loma chata. Por lo tanto, el valle de Cadereyta está encerrado en una muralla anular, poco elevada al Poniente y Sur, más elevada al Norte, y muchísimo más al Oriente. De esa muralla para afuera, el terreno desciende por todas partes: con suavidad por el Poniente hasta Tequisquiapan; con menor suavidad y accidentado por el Sur y Sureste, hasta Patehé y Taxhidó, lugares situados en el río de San Juan; y con mucha mayor pendiente por el Este y Norte, hasta Las Tuzas, en la falda oriental del Mintejé, y hasta el arroyo de San Juan de la Rosa, en las faldas de los cerros del Rincón y Santa Bárbara. El cerro Mintejé, uniéndose por una parte con la serranía de San Juan de la Rosa, que hacia el Este baja para Vizarrón, y por otra con los cerros del Piloncito y El Rincón, forma la extensa y profunda rinconada de Velázquez, que se encuentra á 100 metros sobre Cadereyta, y en la cual nace el arroyo de San Juan de la Rosa, que lleva sus aguas para San Pedro Tolimán. Todo el resto de la municipalidad de Cadereyta se encuentra en terreno medianamente accidentado, surcado por barranquillas que llevan las aguas al río de San Juan, y lleno de eminencias, á las veces coronadas por anchurosas mesetas.

Hidrografía de la región.

Conocida ya la topografía del municipio de Cadereyta, y descrito en pocas palabras el relieve de aquellos terrenos, es bien fácil comprender ahora el movimiento de las aguas pluviales en la superficie rugosa de ese suelo; y su división hasta llegar á los dos ríos, que hacen el drenaje de esa extensa zona.

Encerrado el valle de Cadereyta en una muralla cir-

cular, todas las aguas que se precipitan en ese valle, no tienen ninguna salida, y se infiltran allí ó se reunen en varios bordos construídos al efecto. Entre éstos se cuentan: los grandes depósitos llamados Las Fuentes, que se hallan en la ciudad de Cadereyta, y la llamada Presa del Llano; los primeros que colectan el agua para los usos domésticos, y la segunda para el ganado, siendo todas estas aguas recogidas por las faldas de la Loma Chata y cerros vecinos. De los cerros de Boyé, se recoge el agua en el bordo de Boñú; las del Mintejé, se reunen en los bordos del Ranchito; y en general, las aguas precipitadas dentro de este valle, se reunen en bordos, y se infiltran en su mayor parte.

Por las faldas exteriores de la muralla que rodea á Cadereyta, las aguas descienden del Poniente, Sur y Oriente, para el río de San Juan; y de la parte Norte, por San Pablo, para el río de Tolimán. En efecto, en la Mesa de Barrera, nace el arroyo de Tetillas, que pasa abajo del pueblo de este nombre, y desciende por la hacienda del Ciervo, en donde detiene las aguas la presa llamada La Cruz, y de allí baja el arroyo, por la hacienda de La Tortuga, para el río de San Juan. A este arroyo de Tetillas se unen otros varios, que bajan de los cerros de La Caja, y entre todos hacen el desagüe del plano inclinado que se extiende de la Mesa de Barrera para la hacienda del Ciervo. Por el Sur y el Oriente: los arroyos de Loberas, Huachití, El Palmar, el de Ziquia, y el que nace en la hacienda de Las Tuzas y baja por el cerro Prieto, permiten el desagüe de esa extensa zona que desciende para el río de San Juan, al cual desembocan los arroyos antes mencionados. Por el Norte, las aguas que se precipitan en la rinconada de San

Juan de la Rosa, llamada también de Velázquez; así como la de las faldas de la extensa serranía de San Juan de la Rosa, bajan por el arroyo de este nombre para el río de Tolimán, el cual se une al del Extoraz, y después de un largo rodeo llegan al río Moctezuma, nombre que toma el de San Juan al pasar por el Distrito de Jalpan, también del Estado de Querétaro.

Como se comprenderá por lo dicho anteriormente, sólo los ríos de San Juan, Tolimán y el Extoraz, llevan agua en todo tiempo, aunque sus gastos sean muy varios; y todos los arroyos que he mencionado, son pequeños canales naturales para el desagüe de los terrenos, y sólo llevan agua después de las grandes precipitaciones atmosféricas, encontrándose secos por lo general.

En cuanto á la cantidad de agua que corra por esos ríos, y la que en tiempo de lluvias baje por los arroyos mencionados, nada puedo decir, pues no existen datos numéricos á este respecto ni acerca de la cantidad de lluvia precipitada anualmente en aquella zona, y sólo pude averiguar: que son mucho más frecuentes y considerables las precipitaciones atmosféricas en la serranía de San Juan de la Rosa, y la de Sombrerete que se extiende para el Mineral del Doctor, que en la zona comprendida de las faldas occidentales del cerro Mintejé para las haciendas de Santillán y el Ciervo; es decir, que son mucho mayores las de la zona en que mejor resalta el relieve del terreno, que en la poco accidentada que se extiende de Cadereyta para el Ciervo.

El gasto del río de San Juan es aumentado por varios manantiales, algunos abundantes, que se encuentran en las vegas de ese río, y entre los cuales puedo citar: los de Tequisquiapan, que vierten bastante agua

á la temperatura de 30 grados centígrados; los de Taxhidó, también abundantes, y de los que sale agua á 38 grados; y los de Patehé, poco abundantes, pero cuyas aguas son excesivamente calientes y azufrosas, siendo su temperatura 96 grados. Además de estos manantiales se encuentran otros varios en la región de que me ocupo, como son: los del arroyo de San Juan de la Rosa, cuyas aguas á 14 grados y no muy abundantes, se emplean en el riego de algunas huertas y en los abrevaderos para el ganado; los del pueblo de Tetillas; los de Las Fuentes, en terrenos suburbanos de Cadereyta; y el de la hacienda de Quintillé, todos estos son fríos y de muy poco gasto.

Después de los apuntes anteriores, relativos á la topografía é hidrografía del municipio de Cadereyta Méndez, paso á considerar esa zona desde otro punto de vista, me ocuparé ahora de la geología de la región.

Geología de la región.

Entre las varias aplicaciones de la ciencia geológica á la agricultura y á la higiene, ocupa un lugar muy distinguido y de importancia siempre creciente, la que se refiere á la hidrología interna, ó sea al estudio de las corrientes de aguas subterráneas. Estos estudios serán siempre muy interesantes, en vista de la necesidad cada día mayor de aprovechar esas aguas, tanto en las poblaciones para los usos domésticos, como en la agricultura para su completo desarrollo.

No es ya la varita de madera en equilibrio, ni la vara milagrosa ó adivinadora, las guías que conducen al descubrimiento de las corrientes de aguas subterráneas; no

son ya las plantas que crecen en determinados lugares, los indicios ciertos que nos hagan suponer aguas profundas; no bastan las reglas del abad Paramello, para investigar las corrientes subterráneas en toda clase de formaciones geológicas; la generalización de las teorías hidrológicas, no debe ser ya la norma de nuestros estudios é investigaciones; y no será bastante, por último, el conocimiento de la topografía é hidrografía de un terreno, para saber el modo de circulación de las aguas en las profundidades del mismo. En cambio, el estudio geológico detallado de una región; la determinación exacta de las relaciones que existan entre las formaciones que la constituyan; el conocimiento de la naturaleza, composición y agrietamiento de las rocas; así como de la inclinación de los estratos, de las inflexiones subterráneas de éstos, de los accidentes tectónicos, etc., permitirán concluir con fundamento y de una manera racional: el modo de circulación subterránea de las aguas, en cada caso particular, y para cada una de las regiones estudiadas. La verdad de mis anteriores aseveraciones, queda plenamente probada con las autorizadas palabras del eminente hidrólogo Ernesto Van den Breeck, cuando en el estudio que hizo acerca de los manantiales de Modave, dice:[1] "El estudio de un proyecto de drenaje ó de capturación de agua, comprende cuestiones muy diversas. El camino racional consiste: en dirigirse primero á la geología, la cual determina la estructura y relaciones generales de las capas; así como, sus relaciones con los manantiales acuíferos que contengan, lo que permite arreglar cortes racionales de los terrenos,

1 Bulletin de la Société Belge de Géologie (1890) tomo IV.—P. V. pág. 180.

determinar sus condiciones de permeabilidad ó de impermeabilidad, así como las dificultades que ofrezcan para los trabajos de excavación ó de construcción. Viene en seguida la Hidrología, que precisa las nivelaciones, el fraccionamiento de los manantiales, las cantidades de agua disponibles, el gasto medio y el mínimo. La Química y la Bactereología deben intervenir en seguida para determinar la composición de las aguas, y las variaciones que puedan presentar periódicamente, y definir si son nocivas ó no, considerándolas desde el punto de vista higiénico. Ya con estos datos adquiridos, es únicamente cuando debe acudirse al Ingeniero para que estudie las condiciones de establecimiento más favorables y mejor apropiadas á los datos geológicos é hidrológicos." A las anteriores elocuentes frases, agregaré las siguientes del mismo ilustre autor:[1] "el principio de la diferenciación y distinción de los casos, basada sobre el elemento esencial de los datos geológicos, constituye el fundamento de la hidrología de los terrenos."

Por lo anterior se comprenderá la mucha importancia que tienen los datos geológicos en la resolución de las cuestiones de la hidrología dinámica, y la necesidad de hacer estudios especiales en cada lugar, alejándose de las ideas de unificación, para distinguir los casos, según sean las formaciones geológicas.

En la región de que me ocupo, ó sea en la municipalidad de Cadereyta, se observan dos clases de formaciones geológicas: la eruptiva terciaria, representada por las andesitas, rhyolitas y basaltos; y la sedimentaria meso-cretácica, representada por calizas y pizarras.

1 Bulletin de la Société Belge de Géologie (1897) tomo XI.—pág. 494.

La formación eruptiva terciaria, se extiende: desde Tequisquiapan, por las haciendas del Ciervo y Santillán, hasta los cerros de Tetillas, la Mesa de Barrera, y la Loma Chata forma el valle de Cadereyta; se levanta por los cerros de Santa Bárbara, el Rincón, Ranchito y Mintejé, como también por los cerros de La Caja y Pico de Bernal; desciende para el río de San Juan, formando los cerros del Palmar, el Picudo, el Frontón y El Colorado; y continúa por Tecozahutla, para internarse en el Estado de Hidalgo. Esta formación eruptiva, como se ve, forma el suelo de Cadereyta, se levanta por el Noreste hasta los cerros del Rincón y el Mintejé; y se extiende por el Poniente para San Juan del Río, por el Noroeste para Bernal, y por el Sur penetra al Estado de Hidalgo en el que muchísimo se prolonga.

La formación sedimentaria cretácica se extiende del cerro Piloncito y serranía de San Juan de la Rosa, al Sur de Vizarrón para Sombrerete, Santa Inés y hasta el Mineral del Doctor. El contacto de esta formación con la eruptiva terciaria, se encuentra al Oeste del arroyo de San Juan de la Rosa, ó sea, en las faldas septentrionales de los cerros del Rincón y Santa Bárbara, los cuales limitan por el Noreste, como he dicho, al valle cerrado de Cadereyta Méndez.

La formación eruptiva se encuentra profundamente cortada por la barranca de San Juan, en el lugar llamado Taxhidó, en el que puede observarse la sucesión de corrientes de rocas eruptivas; y la formación sedimentaria, está también surcada por el arroyo de San Juan de la Rosa, en donde puede estudiarse la estratificación de las calizas y pizarras, así como sus múltiples plegamientos.

Las rocas que constituyen la formación eruptiva, fueron estudiadas al microscopio, y descritas por el Señor Ingeniero Ezequiel Ordóñez, de la siguiente manera:

"*Roca de Taxhidó.*—Compacta, de color negro. Asociación microlítica de labrador y de augita. Raros cristales de labrador y de piroxena. Es Labradorita ó Basalto pobre de olivino.

Roca de la Mesa de Barrera.—De color negro pardusco con fenocristales de labrador y de andesita. Magma vitrio con microlitas de oligoclasa de muy pequeño ángulo de extinción, y en estructura fluidal. Cristales de augita y de hiperstena diseminados. Es Andesita de augita y de hiperstena.

Roca del Cerro Frío.—De color rojo. El mismo magma que el anterior, sin augita y con numerosos cristales alterados de hiperstena. Es Andesita de hiperstena.

Roca del Cerro Cantón.—Como la roca de Taxhidó, sólo que tiene muchos fenocristales de labrador y grandes cristales de augita. Es Labradorita ó Basalto pobre de olivino.

Roca de La Mesa.—En lajas de color pardo violado, magma con microlitas de labrador y de augita. Fenocristales de labrador y de augita. Es Labradorita ó Basalto pobre de olivino.

Roca de la Loma Chata.—Magnífico tapiz esferolítico con esferolitas de cruz negra, lagunas tapizadas de cuarzo con inclusiones de tablitas de sanidino. Bien formadas litofisas, tapizadas de cristalitos de cuarzo blanco y ametista, tablitas de sanidino y de trydimita. Muy finas y algo alteradas, tablitas de fayalita. Es Rhyolita con litofisas.

Roca del Cerro Mintejé.—Como la del Cerro Cantón. Es Labradorita ó Basalto pobre de olivino."

Además de las rocas eruptivas anteriores, se encuentran en la región: tobas blancas ó amarillentas, y brechas con pómez ú obsidianas, así como retinitas que á las veces surcan á las rhyolitas.

Las rocas anteriores están repartidas en la región de que me ocupo, de la siguiente manera:

El extenso plano inclinado que se levanta de Tequisquiapan para la Mesa de Barrera, al Sur-Poniente de Cadereyta, y que se prolonga por Corral Blanco para Taxbatá y la hacienda de Tunas Blancas, está cubierto en gran parte por la tierra vegetal que descansa sobre las tobas blancas y á veces amarillentas. Estas tobas se encuentran á descubierto en varios lugares de ese plano, y sobre todo en las cercanías de la hacienda del Ciervo y hasta la Mesa de Barrera, así como en el camino de Zituní para Tunas Blancas. En el mismo plano y en las tobas mencionadas, afloran á veces las rhyolitas, como sucede en los potreros de San Agustín, pertenecientes á la hacienda del Ciervo; ó en grandes eminencias se levantan de ese plano las mismas rhyolitas, que por el Norte se encuentran en el esbelto Pico de Bernal, y al Sur en la Loma Chata.

En la Mesa de Barrera, al Suroeste de Cadereyta, se encuentran las andesitas de augita y de hiperstena, compactas y de color negro pardusco, cubiertas en la parte horizontal de esa Mesa, así como en la mayor parte de la falda oriental de la misma elevación, por las tobas blanquizcas ya mencionadas.

De la Mesa de Barrera por la falda occidental, en la cual nace el arroyo de Tetillas, y para los cerros de este nombre, se prolongan las andesitas, las cuales se extienden hasta los cerros de la hacienda del Ciervo. En

la falda occidental de la Mesa de Barrera, así como en los cerros de Tetillas, las andesitas se encuentran en lajas, y en varios lugares están sumamente alteradas.

Por el Norte, se extiende la andesita para el cerro de La Magdalena, desaparece en seguida hajo las tobas que se hallan en la pequeña elevación que une á este cerro con los de Santa Bárbara; y aparece después hacia el Noreste, en el Cerro Frío, perteneciente á la hacienda del Rincón, y en el cual las andesitas son de color rojo y no tienen augita, razón por la que se les clasificó como andesitas de hiperstena.

Por el Sur, las andesitas se interrumpen, y en la Loma Chata aparecen las rhyolitas con litofisas. El contacto entre estas dos rocas, se encuentra casi en el camino de Cadereyta para el Ciervo, al pasar por el puerto de San Diego, muy cercano á Cadereyta, y al Suroeste de esta población.

Las rhyolitas con litofisas, bajan al valle de Cadereyta por el lugar llamado Las Fuentes, y se levantan por la Loma Chata, formándola en su totalidad, para prolongarse hasta los cerros de la hacienda de Tovares, al Sur de Cadereyta.

La andesita se limita por el Norte, al llegar al arroyo de San Juan de la Rosa, en donde se encuentra en contacto con las pizarras arcillosas cretácicas; y por el Oriente concluye en el cerro llamado Cantón, en donde se encuentra en contacto con las labradoritas ó basaltos pobres de olivino; rocas que se extienden para el Este y Sur, y que al Norte están en contacto con las pizarras cretácicas en la barranca de Velázquez. Este es un lugar de suma importancia para los estudios geológicos, pues allí se encuentran contactos de las rocas

eruptivas entre sí, y también con la formación cretácica. En efecto, al Oeste del arroyo de San Juan de la Rosa, ó sea á su margen izquierda, se encuentran: el contacto de la formación cretácica con las labradoritas; y un poco más abajo ó al Norte-Oeste, con las andesitas de hiperstena; así como se observa en ese mismo lugar el contacto de las labradoritas con las andesitas, en el Cerro Cantón, cuyas faldas del Noreste bajan al mismo arroyo de San Juan de la Rosa.

Las labradoritas, ó basaltos pobres de olivino, se extienden del Cerro Cantón, dejando al Noreste el del Piloncito, para La Mesa y el cerro elevado llamado Mintejé por cuyas faldas descienden: al Este para la hacienda de las Tuzas; y al Poniente para el valle de Cadereyta, formando el Cerro del Ranchito, y extendiéndose por Boyé y Quintillé, para reunirse en Tovares con las rhyolitas de litofisas que se encuentran en la Loma Chata.

Las faldas del Mintejé, que se extienden por el Este cerrando el vallecito de Boyé y El Palmar, están formadas por la misma labradorita, roca que se encuentra en los cerros: Picudo, Prieto, El Palmar, El Frontón, El Colorado, los de la hacienda de Loveras, y que desciende por la hacienda de Ziquia, así como por Taxhidó y Patehé para el río de San Juan, dejando sólo á descubierto en las cercanías del Palmar, una zona de rhyolitas aperladas, las que están rodeadas, y en su mayor parte cubiertas, por las mencionadas labradoritas.

En la Mesa de Mintejé, así como en el Cerro Cantón y en la parte alta de las barrancas de Taxhidó y de Patehé, las labradoritas se encuentran en lajas, generalmente de color pardo violado; y en el fondo de la ba-

rranca de Taxhidó las mismas labradoritas son de color negro y compactas.

Toda la zona superior de la formación labradorítica, se encuentra surcada por numerosas litoclasas, las que dividen la roca: ya en lajas, algunas muy delgadas; ó bien en cuartones, como se observan en las cimas de los cerros ya mencionados. En la zona inferior de la misma formación, la roca está muy compacta y casi sin grietas, como se encuentra en el fondo de la barranca de Taxhidó.

En el cerro de San Gaspar y por San Diego, al subir á la Mesa de Barrera, se encuentran retinitas, surcando en tramos á las andesitas que forman esos cerros, andesitas que están agrietadas en la superficie, y en muchas partes se encuentran alteradas.

El valle cerrado de Cadereyta, está ocupado por tobas, que sostienen la tierra vegetal, y que están colocadas sobre la formación eruptiva de esa región. En efecto, en una noria que están abriendo en la hacienda de Zitumí, en la parte Norte-Poniente del valle de Cadereyta, puede observarse un corte vertical de 56 metros de profundidad, y en el cual se encuentran: las tobas amarillosas, en los 8 primeros metros, ó sea en los superficiales; vienen en seguida y en 16 metros, unas tobas azuladas; y en los 32 restantes, están las brechas con pómez, retinita, y á las veces obsidiana, brechas que descansan, sin duda, sobre las andesitas del cerro de la Magdalena y Mesa de Barrera.

Del valle de Cadereyta salen las tobas: por el Norte-Oeste, al Poniente del cerro de La Florida, y rodeando por el Norte al cerro de La Magdalena, para Tunas Blancas, y el plano inclinado que desciende por Santi-

llán para Tequisquiapan; y por el Sureste, salen las mismas tobas por Boñú, para ocupar el vallecito cerrado de Boyé, y se extienden en seguida por el Palmar.

En diversas partes de la zona que baja de Cadereyta por el Sureste y el Este, para el río de San Juan, las labradoritas están cubiertas por tobas amarillentas que son á las veces blanquizcas.

De lo anterior se deduce: Que la formación eruptiva terciaria de la región que motiva este estudio, está limitada: al Norte, por el arroyo de San Juan de la Rosa y el cerro Piloncito; y se extiende por el Poniente, para Bernal y Tequisquiapan; y por el Sur y el Este para el río de San Juan, prolongándose mucho más en estas últimas direcciones, para internarse en el Estado de Hidalgo. Que esa formación está constituída: por el Norte, Este y Sur, por labradoritas, en lajas y de color pardo violado en las partes altas, y compactas y negras en la parte baja como se observa en la barranca de Taxhidó; por el Sureste y Sur, en la parte cercana á Cadereyta, se encuentran las rhyolitas, que salen también al Sur del Palmar, y están cubiertas en partes por las labradoritas; y al Poniente y Noreste de Cadereyta, en la parte cercana á la población se encuentran las andesitas, las cuales más al Oeste, están cubiertas por las rhyolitas que se extienden en el plano inclinado que baja para Tequisquiapan; y á estas rhyolitas las cubren á las veces las tobas que se encuentran en ese plano, así como en el valle de Cadereyta, y en Boyé, el Palmar y la Mesa de Barrera.

En la barranca de Taxhidó, como dije en otro lugar, se puede observar un corte profundo en la roca labradorítica, y en ese corte natural puede verse: que

las labradoritas alternan con las tobas. En efecto, en la barranca de Taxhidó, en 155 metros de profundidad, se observa la siguiente superposición: en el fondo ó lecho del río de San Juan, se encuentran las labradoritas compactas y negras, ya descritas; sobre éstas se halla un escurrimiento de tobas, de 10 metros de espesor; encima están de nuevo las labradoritas, en 25 metros de altura; vuelven en seguida las tobas, en 10 metros; sobre éstas se halla una capa de 35 metros de grueso, de labradoritas compactas; sobre esta capa está otra de 20 metros, formada por tobas amarillentas; y sobre éstas, por último, y como coronamiento de la barranca, en una altura de 55 metros, se encuentran las labradoritas en lajas y de color pardo violado, como las que se hallan en la Mesa del Mintejé. Estas cuatro corrientes de labradoritas, alternadas con las tobas, se extienden para el Estado de Hidalgo, como puede verse en otras barrancas pertenecientes á este Estado, y que son tributarias de la barranca de Taxhidó.

Estudiando con detenimiento la formación eruptiva terciaria de la región de Cadereyta, formación que ligeramente he descrito, puede llegarse á concluir: que las rocas que aparecieron primero, son las andesitas de hiperstena ó de augita é hiperstena, que se encuentran de la Mesa de Barrera para el cerro Cantón; en seguida aparecieron las rhyolitas, que se encuentran en la Loma Chata, en el Palmar, y en varios lugares cercanos á la hacienda del Ciervo, las cuales cubren las andesitas, como se ve en las cercanías de la Loma Chata, y al último, fueron las emisiones labradoríticas, que se levantaron hasta las cimas del Mintejé, y se extendieron en escurrimientos alternativos con tobas, para Tecoza-

hutla, del Estado de Hidalgo, cubriendo á las veces á las rhyolitas, como se observa en el Palmar y en otros varios lugares. Las tobas cubrieron á las rhyolitas y andesitas en toda la planicie inclinada que baja de la Mesa de Barrera para Tequisquiapan, y llenaron los valles de Cadereyta, Boyé y El Palmar, cubriendo también á veces á las labradoritas que forman la mayor parte de la zona eruptiva de que me ocupo.

El valle cerrado de Cadereyta, está, como se ve, sobre rocas eruptivas, rellenado por éstas, y rodeado de eminencias eruptivas, cubiertas en partes por las tobas blancas ó amarillentas.

La formación sedimentaria cretácica se extiende, como he dicho, de las faldas septentrionales de los cerros del Rincón, y cerca de la margen izquierda del arroyo de San Juan de la Rosa, para el Mineral del Doctor; se levanta hasta las cimas de la serranía de San Juan de la Rosa, desciende por los cerros de Vizarrón al Poniente de Las Tuzas, y casi al nivel de Cadereyta, para levantarse de nuevo por Santa Inés para la serranía del Doctor.

Esta formación cretácica está constituída: por pizarras arcillosas delgadas teñidas con óxidos de fierro (estudiadas al microscopio), y en estratificación concordante, pero sumamente plegadas, siendo su rumbo variable entre 15° y 45° N.W., y con echados variables por estar tan plegadas. Estas pizarras forman un sinclinal en el arroyo de San Juan de la Rosa, para levantarse plegadas formando un anticlinal en la cima de la serranía denominada también San Juan de la Rosa. En toda esta parte sólo se ven á la superficie las pizarras arcillosas; pero del lado de Vizarrón aparecen las cali-

zas compactas, de color gris, que han sido clasificadas como cretácicas, y que se encuentran debajo de las pizarras arcillosas ya mencionadas. En algunas partes están cubiertas estas pizarras por caliches que emplean en la localidad para la fabricación de una cal medianamente hidráulica.

Las pizarras arcillosas están surcadas en direcciones casi normales al rumbo de su estratificación, por varios arroyitos, en los cuales puede observarse el plegamiento de esa formación. En estos arroyitos existen varios manantiales con agua á 14°C., y que están en los planos de estratificación de las pizarras.

El contacto de las pizarras con las rocas eruptivas, con las labradoritas del cerro Cantón, y con las andesitas del cerro Frío, no se encuentra en un plano, sino que es una superficie ondulada: penetrando más el cretácico en el cerro Frío, ó sea en las andesitas, que en el cerro Cantón, formado por las labradoritas.

Para formarse mejor idea de la geología de la región de que me ocupo ahora, creo conveniente aclarar mis explicaciones, con los dos croquis adjuntos:

El número 1 es un croquis de corte geológico que va de la hacienda del Ciervo por la Bóveda, pasando por la Mesa de Barrera, para Cadereyta; sigue por el valle de Cadereyta para los cerros del Rincón, y pasando por cerro Frío, llega al arroyo y serranía de San Juan de la Rosa.

El número 2 es otro croquis de corte geológico que va del fondo de la barranca de Taxhidó, por el cerro Frontón para el Palmar; sigue de allí por el cerro Mintejé, para la Mesa y el cerro Piloncito, y concluye en la serranía de San Juan de la Rosa.

En el corte número 1 se ve lo siguiente. Desde la hacienda del Ciervo, y levantándose el terreno suavemente, se llega hasta el lugar llamado La Bóveda, que está 115 metros arriba del Ciervo, y 50 arriba de Cadereyta; en toda esta extensión el terreno está constituído por rhyolitas que á veces salen hasta la superficie, y en lo general están cubiertas por las tobas blancas ó amarillentas. De la Bóveda sube el terreno 20 metros para la Mesa de Barrera, y desciende en seguida 70 metros hasta Cadereyta; estando formada toda esta zona por andesitas de augita y de hiperstena, cubiertas en varios lugares por las tobas blanquizcas. De Cadereyta para la hacienda del Rincón se atraviesa el valle, ascendiendo sólo 10 metros en 6 kilómetros; y esta parte la forma un subsuelo de andesitas de hiperstena, cubiertas por brechas de pómez y tobas amarillentas, las cuales están cubiertas por la tierra vegetal. Del Rincón para el puerto que une á cerro Frío con el de Santa Bárbara, sube el terreno 130 metros, para descender en seguida 125 hasta el arroyo de San Juan de la Rosa; y en esta zona se encuentran las andesitas de hiperstena hasta 50 metros antes de llegar al mencionado arroyo. Desde este lugar comienzan las pizarras arcillosas, plegadas como lo indica el croquis, y cubiertas en partes por los caliches ya mencionados.

En el corte número 2, se ve lo que sigue: Del fondo de la barranca de Taxhidó se levanta el terreno rápidamente primero, 155 metros, para llegar al borde de la misma barranca, y de aquí, en pendientes suaves y con múltiples rugosidades, sube para el cerro El Palmar, 360 metros más, ó sea 80 metros arriba de Cadereyta; y en esta parte se encuentran, alternando con las tobas,

las labradoritas negras y compactas abajo, y en lajas de color pardo violado en la parte superior, roca que se pronlonga hasta cerca del Palmar, en donde aparecen las rhyolitas aperladas, las cuales desaparecen más al Norte por estar cubiertas por las labradoritas. Del cerro El Palmar, desciende el terreno para el pueblo del mismo nombre, y se levanta en seguida hasta las cimas del Mintejé ó sea á 594 metros sobre Cadereyta, y desciende luego 260 metros para el rancho de La Mesa, estando formada toda esta parte por labradoritas, compactas y negras abajo, y en lajas pardo violadas en la parte superior. De la Mesa sube el terreno para el cerro Piloncito, en donde comienzan las pizarras arcillosas cretácicas, cubiertas en partes por caliches, formación que se prolonga para la elevada serranía de San Juan de la Rosa.

Las anteriores descripciones, tanto la topográfica, como la hidrográfica y la geológica, de la municipalidad de Cadereyta Méndez, las aclarará, sin duda, el plano que va adjunto á este estudio.

Ya con todos los datos anteriores, y teniendo en cuenta principalmente los geológicos de esta localidad, paso á ocuparme de la hidrología interna de la región.

Hidrología interna de la región.

Al disertar acerca de la hidrología dinámica[1] de la municipalidad de Cadereyta, me veo precisado á dedicar varios renglones á la hidrología interna en general, con objeto de indicar algunas de mis opiniones á este

1 He aceptado esta expresión para designar, con Mr. E. Van den Broeck, el conjunto de fenómenos que constituyen el ciclo completo circulatorio subterráneo.—Bulletin de la Société Belge de Géologie &c. (1897). Tomo XI. pág. 530.

respecto, opiniones que servirán para aclarar esta parte de mi estudio, y que si no tienen por mira la innovación, sí juzgo necesario exponerlas, para que se comprendan mejor las razones que me han guiado á las conclusiones que indicaré en seguida.

Después de leer mucho de lo que se ha escrito respecto á hidrología dinámica, y sobre todo en la magnífica publicación titulada "Bulletin de la Société Belge de Géologie, Paléontologie et Hidrologie," he podido comprender la diversidad de ideas concebidas á este respecto, y sobre todo al referirse á la circulación subterránea de las aguas en las calizas y rocas eruptivas. Además, he podido comprender por las varias disertaciones y datos acopiados en la publicación mencionada, la diversidad de modos de circulación de esas aguas, y la variedad de formas que presentan las cavidades por las cuales circulan; y en visto de esto, me ha parecido conveniente hacer primero un ensayo de clasificación de esas corrientes subterráneas, para poder comprender con más facilidad las condiciones variables, según los casos, en que se encuentren esas corrientes, y la manera de capturarlas en caso favorable, ó de poder fundar con buenas razones, el mal éxito que alcanzarían las obras emprendidas con ese objeto.

El agua circula en el interior de la tierra: por fracturas, grietas ó intersticios; y en general, por huecos existentes que permiten la circulación más ó menos fácil de esas aguas. Estos huecos pueden existir en terrenos muy distintos: ya en los formados por elementos incoherentes, como sucede en las capas de arena ó de aluvión; ya en terrenos coherentes, como en las calizas y rocas eruptivas. En estas rocas los huecos pueden ser

muy diferentes: ya relativamente regulares, como las paraclasas ó diaclasas que á veces las surcan, y que son de mayor ó menor importancia, ó bien irregulares como las cavernas, grietas, embudos ó venas, que se observan en algunas calizas, y también las leptoclasas que se encuentran en las rocas eruptivas. Además, las rocas porosas ó fracturadas pueden encontrarse solamente sobre terrenos impermeables que las soporten, siendo permeables las rocas que las cubran; ó pueden encontrarse soportadas y también cubiertas por rocas impermeables: en el primer caso, las aguas estarán enteramente libres, y sólo imposibilitadas para infiltrarse á mayor profundidad; y en el segundo caso, las aguas estarán aprisionadas y sometidas á veces á una presión hidrostática que las obligará á brotar, cuando un taladro perfore el terreno superior impermeable, en cuyo caso llegarán las aguas hasta la superficie ó sólo brotarán del lugar en que se les encuentre para un nivel superior; pero nada de esto sucederá, cuando la roca superior sea permeable, pues esto impedirá que se establezca la presión hidrostática en las referidas cavidades.

Las cavidades subterráneas de que he hablado, deben estar en comunicación con el exterior. Esto se comprende fácilmente, puesto que las aguas superficiales, ya sean las que provienen de las lluvias ó bien de los deshielos, son las que originan las aguas subterráneas; y por lo mismo en todo receptáculo acuífero hay que considerar: la parte superficial y la profunda; y además, el fondo de roca impermeable ó saturada de agua que, al impedir que la infiltración sea indefinida, detenga á las aguas en su descenso.

Por lo anterior se comprende, que para poder concluir si existen aguas subterráneas en una región, y en caso afirmativo decidir si esas aguas pueden brotar hasta la superficie del terreno, mediante alguna perforación, y poder indicar en cada caso cuál es la obra que debe emprenderse para capturar mejor las mencionadas aguas subterráneas, es preciso poseer los mejores datos relativos: tanto á las precipitaciones atmosféricas, como á la existencia de cavidades subterráneas en las cuales pueda circular y depositarse el agua; es preciso conocer, además, la forma de esas cavidades y la naturaleza de las rocas que soportan y cubren á aquellas en que se encuentren las referidas oquedades, y por último, la topografía de la localidad.

Desde el punto de vista hidrológico consideraré: como permeables, todas las rocas que presenten cavidades continuadas, por las cuales puedan circular las aguas; y como impermeables, las que siendo coherentes y compactas, no tengan grietas que las surquen, ni cavidad alguna que permita la circulación de las agua.

En caso de permeabilidad, distingo: las capas incoherentes ó porosas, como las arenas, aluviones, cenizas volcánicas, en las cuales las cavidades son los muchos intersticios que separan á sus elementos constitutivos; y las rocas coherentes ó compactas agrietadas, en las cuales las cavidades son las litoclasas que las surcan. A las primeras formaciones las llamaré de "permeabilidad continua," y á las segundas las denominaré de "permeabilidad localizada," por ser debida sólo á las grietas que se encuentran en algunas partes de esas rocas. En las rocas de permeablidad continua, las aguas descenderán, por lo general, con menor rapidez que en

las de permeabilidad localizada; y esto se explica fácilmente, puesto que al infiltrarse el agua en un terreno, se encuentra sometida á dos fuerzas: la gravedad que la obliga á descender, y la atracción capilar que se opone á la primera fuerza: si las cavidades por las cuales debe circular el agua, son muy pequeñas, como sucede con los intersticios de las rocas incoherentes, la atracción capilar es muy fuerte y el agua desciende con dificultad y lentitud, y muchas veces esa atracción la hace ascender como lo haría una esponja; y en cambio, si las cavidades son amplias, como sucede en las rocas atravesadas por paraclasas y diaclasas supercapilares, la superficie atractiva será pequeña, y las aguas descenderán con rapidez, razón por la cual denomina Daubree[1] á estas rocas de permeabilidad en grande.

Las grietas que surcan á varias rocas compactas, y en virtud de las cuales se vuelven permeables, las denominaré con Daubree: litoclasas en general; y las clasificaré con el mismo distinguido autor, aceptando en todo sus definiciones para cada término: en leptoclasas (sinclasas ó pisoclasas), diaclasas y paraclasas.[2]

Aceptado lo anterior, denominaré "receptáculo acuífero subterráneo," á toda serie de intersticios, litoclasas ó en general cavidades subterráneas en las cuales pueda circular y depositarse el agua. A las aguas contenidas en estas cavidades, las llamaré "aguas subterráneas;" y denominaré "manantiales," á las aberturas por las cuales naturalmente se derramen ó broten las aguas subterráneas.

1 Daubrée.—Les Eaux souterraines á l'époque actuelle.—(1887). Tomo I, página 17.

2 Daubrée.—Les Eaux souterraines á l'époque actuelle.—(1887). Tomo I, página 130.

Todo receptáculo acuífero lo consideraré dividido generalmente en cuatro partes: es la primera, "la superficie de alimentación;" la segunda, "la región de alimentación;" la tercera, "la región activa;" y la cuarta, "la región pasiva." La superficie de separación, entre la segunda y tercera parte, será "el nivel superior de la región activa;" entre la tercera y la cuarta, será "el nivel inferior de los manantiales;" y de la cuarta para abajo, se encontrará "el fondo impermeable."

Debe considerarse como "superficie de alimentación," el afloramiento de las rocas permeables, la que por estar al exterior, permite la infiltración de las aguas que escurran por la superficie de la tierra. Infiltradas ya las aguas, recorrerán éstas en su trayecto descendente, la región comprendida entre la superficie del terreno y la parte en que las aguas se acumulan á la profundidad, zona á la que llamo "región de alimentación," pues por ella se hace la alimentación del receptáculo, y en esta región sólo habrá "aguas intermitentes," pues existirán en tiempo de lluvias ó de deshielos, y escasearán en tiempo de seca. Pasada esta región, seguirán las aguas descendiendo hasta el fondo del receptáculo (que para esta explicación lo considero enteramente vacío), es decir, hasta la roca impermeable ó completamente saturada de agua. Al ir subiendo el nivel del agua en el receptáculo, llegará hasta la altura de los manantiales, desde cuyo momento, parte de las aguas infiltradas comenzarán á escurrir por esos manantiales, el resto de las aguas continuará llenando el receptáculo, y el nivel del agua subirá hasta un límite superior, variable por varias causas. El agua que se encuentra en la zona comprendida del "nivel inferior

de los manantiales'' para abajo, es agua que no puede salir por los manantiales, agua casi sin movimiento, y que llamaré ''agua permanente;'' y como la región en que estas aguas se encuentran, no influye en manera alguna sobre los manantiales, la he llamado ''región pasiva;'' dando el nombre de ''región activa,'' á la región de la cual salen las aguas por los manantiales, y á las que denominaré ''aguas brotantes.''

De las cuatro partes ó divisiones anteriores, son indispensables para la existencia de un receptáculo acuífero subterráneo: la superficie de alimentación, la región de alimentación, y además, el fondo impermeable ó saturado de agua, pues la región activa y la región pasiva pueden existir á la vez ó sólo alguna de ellas, lo cual dependerá de la topografía del terreno, pues siendo el ''nivel inferior de los manantiales'' la separación entre las regiones activa y pasiva, si la topografía del terreno permite la existencia de ''manantiales'' á nivel del ''fondo impermeable,'' no habrá región pasiva; y si sólo permite la existencia de manantiales al ''nivel superior de la región activa,'' no habrá ''región activa,'' sino pasiva únicamente.

Conocidas ya las partes constitutivas de un receptáculo acuífero subterráneo, hay necesidad de estudiar ahora su situación y su forma aparente.

Por su situación hay que diferenciar los receptáculos que se encuentren ''en rocas porosas de permeabilidad continua;'' y los que estén en ''rocas compactas agrietadas, ó de permeabilidad localizada.'' Los primeros pueden encontrarse ''colocados entre dos capas impermeables inclinadas,'' en cuyo caso las aguas contenidas en la zona activa del receptáculo, estarán some-

tidas á una presión hidrostática, y esas aguas podrán ser "artesianas" ó "brotantes," según que sólo se eleven del lugar en que las corte la perforación, sin salir hasta la superficie del terreno; ó brotantes si se elevan hasta esta superficie, lo cual puede suceder ya "naturalmente por grietas del terreno," ó "artificialmente por perforaciones." En caso de encontrarse los receptáculos "colocados bajo terrenos permeables," sus aguas serán "phreáticas," "superficiales," ó bien "profundas," es decir, aguas que no están bajo presión, y no se elevan al alcanzarse por pozos. Los receptáculos situados en formaciones compactas agrietadas, pueden contener aguas "brotantes," "artesianas" ó "phreáticas," según se desarrolle ó no la presión hidrostática, dentro de las grietas ó cavidades que forman esos receptáculos.

Clasificaré los receptáculos acuíferos subterráneos por su "forma aparente" en relativamente "regulares" é "irregulares," distinguiendo en ambos casos los que se encuentren "en rocas porosas," y los que se hallen "en rocas compactas agrietadas;" en el primer caso, la circulación tendrá lugar por los intersticios ó poros de la roca, y en el segundo sólo por las litoclasas.

Los receptáculos regulares y en formaciones porosas, están constituídos por la serie continua de intersticios que existen en los estratos formados por elementos incoherentes, como los de acarreo, formados por arenas ó guijarros, y también los constituídos por tobas incoherentes, cenizas volcánicas, algunas veces la creta blanca, etc. Estos receptáculos que denominaré "en estratos," son por lo general muy extensos, regulares y continuos, y de ellos encontramos multitud de ejemplos: ya en

Strasbourgo, en las cercanías de Bruselas y de Viena; en Munich, en Leipzig, en Londres, en Nueva York y en México, todos éstos en terrenos de acarreo; pero los encontramos también en terrenos volcánicos incoherentes, en Irlanda, en Roma y sus alrededores, estratos que se encuentran casi horizontales y formados por tobas incoherentes.

Los de forma relativamente regular, pero en rocas compactas agrietadas, están constituídos por las cavidades ó grietas continuadas que existen en varias vetas, fallas ó diques, y en general paraclasas rellenadas á veces con detritus de las rocas de los respaldos, receptáculos que denominaré "en paraclasas." Pertenecen á este grupo también los que llamaré "en planos estratigráficos," por encontrarse en los planos que separan los estratos en las formaciones sedimentarias; y por último, los que llamaré "en diaclasas," por encontrarse en estas fracturas capilares ó supercapilares que atraviesan en todas direcciones á la corteza terrestre, y que aunque de regularidad geométrica, son por lo general de dimensiones horizontales mucho menores que las paraclasas. Entre esta clase de receptáculos que son también extensos y continuados, encontramos varios ejemplos: ya en el Card, en Plombieres, en las vetas de Hammam-Bou-Hadjar, y otras muchas; en las fallas de Ain-Noissy, de Sassenage, de Lancashire; y en las diaclasas que surcan las rocas paleozoicas de Irlanda.

Entre los receptáculos irregulares en formaciones porosas, tenemos los intersticios que existen en las capitas delgadas incoherentes, formadas por arenas ó aluviones, pero que son discontinuas, y á estos recep-

táculos, por su forma aparente, los llamaré "en lentes," y los que denominaré "en cúmulos" constituídos por los elementos anteriormente mencionados, ó por deyecciones volcánicas incoherentes, como las cenizas, algunas lavas y las tobas. Estos últimos receptáculos se diferencian de los que he llamado en estratos, sólo por su forma irregular, pues los cúmulos son grandes montones en vez de gruesas capas como los estratos. Entre los receptáculos en cúmulos tenemos: los médanos de Gascuña y de Holanda; y los conos de escorias de Etna, de Pu-de-Gravenoire, y de Puy-de-Pariou.

Los receptáculos acuíferos irregulares en formaciones compactas agrietadas, están constituídos por las grietas, ó en general cavidades, más ó menos interrumpidas y localizadas, que se encuentran en rocas coherentes, como las eruptivas y las calizas por lo general. Estos receptáculos los distinguiré, por su forma aparente: "en cavernas ó embudos," que son cavidades localizadas, de mayor ó menos importancia, y muy comunes en las formaciones calizas; "en venas," que son los tubos localizados de sección muy irregular, y que existen con frecuencia en las calizas y en algunas lavas; "en leptoclasas," que son grietas de dimensiones pequeñas en todos sentidos, muy frecuentes en la uperficie del suelo, que se cruzan en diversas direcciones, y que fraccionan á las rocas aunque no en toda la extensión ocupada por la misma roca, sino en tramos localizados, ya á la superficie ó á la profundidad, y que permiten la circulación de las aguas cuando son capilares; "en macizos multiagrietados," que denominaré así, á la multitud de grietas que existen en algunos macizos calizos, que aunque son éstos de naturaleza com-

pacta, se hallan á las veces sumamente fraccionados por esa multitud de grietas, las cuales motivan que estos receptáculos se aproximen mucho por su aspecto á los que he llamado en cúmulos y en estratos incoherentes, pero de los cuales se diferenciarán por no ser continuos en toda la formación geológica en que se encuentren, sino localizados en algunas partes de esa formación; y por último llamaré "en zonas de contacto" á los receptáculos formados por las cavidades que existen á veces en la región de contacto de las rocas eruptivas entre sí ó con las sedimentarias. Entre los receptáculos irregulares en formaciones compactas agrietadas citaré los siguientes: Entre las cavernas, las del Jura, las grutas de Baume, en Vaucluse, en Dordogne, en Orleans, en Suiza, en España, en Moravia, en Argelia, en Siria, en Kentucky y en Indiana (E. U. A.). en leptoclasas, encontramos en Irlanda, en la Lorena alemana, y en Erris. En macizos multiagrietados, encontramos en la creta de varias localidades. En zonas de contacto ó intrusiones, encontramos en Alpe de Wurtemberg y en otros varios lugares.

El desagüe de los receptáculos acuíferos subterráneos puede ser natural, por grietas ó aberturas superficiales; es decir, "por manantiales;" ó sólo puede hacerse artificialmente en algunos lugares "por perforaciones." Los manantiales pueden verter sus aguas permanente ó temporalmente, y en el primer caso su gasto puede ser constante ó interminente; así como el gasto de agua de las perforaciones puede ser constante ó variable.

Como se comprende fácilmente, un mismo receptáculo acuífero puede ofrecer formas aparentes diversas, en

todas ó en algunas de las partes en que lo he considerado dividido: y así, la zona de alimentación puede ser en leptoclasas ó cavernas, en rocas compactas; y en su zona activa puede presentar la forma de estrato, en formaciones porosas. A estos receptáculos que ofrezcan formas distintas en sus diversas partes, los llamaré "multiformes," y "uniformes" llamaré á los que ofrezcan la misma forma en todas sus partes constitutivas; pero aceptaré siempre y en todo caso, como forma aparente de un receptáculo acuífero subterráneo, la que afecte su zona activa, ó su zona pasiva si la primera no existiera, pues estas zonas son las más interesantes, por ser en ellas en donde se depositan las aguas subterráneas.

Se comprende fácilmente que dos ó más receptáculos pueden estar unidos; y por lo mismo, á veces, la zona pasiva de uno puede ser la de alimentación del que se encuentre abajo, y en este caso los llamaré "receptáculos unidos;" ó bien pueden encontrase varios receptáculos separados, pero en una misma formación geológica y al mismo nivel aproximadamente, en este caso llamaré á ese nivel "nivel de receptáculos."

Las anteriores breves generalidades hidrológicas, pueden resumirse en el adjunto cuadro, "ensayo de clasificación:"

La cantidad de agua contenida en estos receptáculos, es muy variable, y depende no sólo de la cantidad de lluvia sino de la permeabilidad de la roca; pues como dice[1] Mr. Gosselet: "según que el suelo sea más ó me-

1 J. Gosselet.—En la segunda de sus lecciones acerca de las capas acuíferas del Norte de la Francia, reproducidas en el Tomo I (1888), del Bulletin de la Société Belge de Géologie.

nos permeable, deja penetrar una cantidad más ó menos grande de las aguas atmosféricas; que ó se almacenan en los depósitos de arena y guijarros, en capas subterráneas, ó se hunden para reaparecer al exterior, en forma de manantiales."

Conocida la forma de un receptáculo acuífero y su situación, así como la topografía del terreno, podrán indicarse ya las obras más acertadas para capturar las aguas contenidas en esos receptáculos acuíferos; pero es necesario para conocer la forma y posición de éstos, acudir á la geología, ciencia única que puede guiar en estas determinaciones, puesto que como dice[1] Mr. de Launey: "el objeto práctico de la geología, es llegar á prever, con la observación de los terrenos superficiales solamente, y de los cortes naturales, en una extensión más ó menos grande, y casi siempre sin ninguna clase de registros ó excavaciones: la sucesión completa de las capas que atravesarían un pozo ó un sondeo abierto en un punto cualquiera y prolongado tanto como se quisiera; así como las capas de agua ó los yacimientos de substancias minerales útiles que pudieran estar intercaladas."

Indicadas ya las generalidades hidrológicas anteriores, que explican la nomenclatura empleada en el resto de este estudio, paso á ocuparme en particular de la hidrología interna de la región de Cadereyta.

Por condiciones topográficas á la vez que por consideraciones geológicas, creo conveniente dividir en tres partes la región de Cadereyta y estudiar por separado cada una de ellas, considerándolas desde el punto de

1 L. de Launey. Géologie pratique et petit dictionnaire technique des termes géologiques les plus usueles. (1900). págs. 2 y 3.

vista hidrológico. La primera parte la formarán el valle de Cadereyta y los cerros que lo rodean; la segunda quedará formada por los planos inclinados que descienden de los cerros que rodean á Cadereyta para el río de San Juan; y la tercera será la serranía cretácica de San Juan de la Rosa.

Hidrología interna del Valle de Cadereyta, y cerros que lo rodean.

El valle de Cadereyta, como he dicho, está rellenado por tobas volcánicas amarillentas y brechas con pómez que descansan sobre rocas eruptivas; y todos los cerros que cierran el valle, están formados por rocas eruptivas, rocas que se encuentran en lajas en la parte superior de las eminencias andesíticas y labradoríticas, y muy ampollosas en la parte rhyolítica con litofisas que se halla en la Loma Chata. Encontramos, por lo tanto, en esta primera parte de la región, dos clases de rocas: unas de permeabilidad continua, como son las tobas del valle, las que se encuentran en la Mesa de Barrera, en la meseta de la Loma Chata, y las que cubren parte de las faldas de los cerros que rodean al valle; y las otras rocas, de permeabilidad localizada, son las labradoritas y andesitas en lajas, y las rhyolitas con litofisas que se encuentran en los cerros que rodean á Cadereyta, y que forman también el fondo del valle de ese nombre.

Se comprende por lo anterior, que los receptáculos acuíferos subterráneos que se encuentren en esta parte de la región en estudio, están cubiertos por rocas permeables, y por lo tanto sus aguas serán phreáticas; y

además son profundas en el valle, pues como dije en otro lugar, la noria de la hacienda de Zituní tiene ya más de 56 metros de profundidad, y en su fondo se encuentra todavía la brecha con pómez.

La superficie de alimentación del receptáculo acuífero subterráneo contenido en el valle de Cadereyta, además de ser la superficie de este valle, que está formado por terreno de permeabilidad continua, la constituye también una gran gran parte de la superficie de los cerros que rodean al valle, y principalmente las mesetas de Barrera, de la Loma Chata y del Mintejé, pues toda esta superficie está cubierta por rocas permeables, ya por las tobas de permeabilidad continua, ó por rocas eruptivas surcadas por leptoclasas capilares. Estas últimas permiten la infiltración de las aguas corrientes superficiales, aguas que después de recorrer las leptoclasas salen á la superficie: ya por manantiales que derraman sus aguas para el valle, ó que hundiéndose más, saldrán para las tobas que rellenan al mismo valle. No se extiende más la superficie de alimentación, pues aunque existen en esa localidad por San Juan de la Rosa, cerros tan altos como los que rodean á Cadereyta, esos cerros son de formación cretácica, y sus aguas subterráneas no penetran probablemente á las rocas eruptivas que estudio en esta primera parte.

La región de alimentación del receptáculo del valle está formada por las tobas y brechas que lo rellenan, cuya humedad es temporal, y se encuentra ésta á mayor profundidad, á medida que más escasean las aguas corrientes superficiales.

No encontramos en ese receptáculo zona activa, pues siendo las aguas phreáticas, y no estando surcado el

valle por ninguna cortadura que permitiera el derrame de esas aguas, todas las superficiales que se infiltren llegarán hasta el fondo del receptáculo, ó sea hasta la zona pasiva, la cual tanto por naturaleza de la roca en que se encuentra, como por su forma aparente, la debo considerar como de forma regular y en estrato.

El fondo de este estrato acuífero, con aguas phreáticas profundas, está constituído por rocas eruptivas: en partes por las andesitas; en otras por las rhyolitas; y por otras se hallan las labradoritas; las primeras se encuentran al Poniente, las segundas al Sur, y las terceras al Oriente y Norte. Este fondo, formado por la superficie irregular de las rocas eruptivas mencionadas, no es del todo impermeable, puesto que esas rocas están surcadas por leptoclasas capilares; y por lo mismo, siendo ese fondo de permeabilidad localizada, permitirá el que una parte de las aguas de ese estrato acuífero se infiltren por algunas partes del fondo, y puedan ir á alimentar á otros receptáculos colocados más abajo, y de los cuales me ocuparé después.

Los receptáculos acuíferos que se encuentran en los cerros que rodean al valle de Cadereyta, contienen también aguas phreáticas en su mayor parte, puesto que están debajo de terrenos permeables, como son las tobas y las rocas surcadas por leptoclasas. La superficie de alimentación de estos receptáculos, es muy reducida, y constituída por la superficie de las mesetas que coronan á esos cerros; su región de alimentación, así como su región activa, son de forma en leptoclasas; y el fondo de estos receptáculos está formado por la misma roca eruptiva en la parte profunda, hacia la cual las leptoclasas desaparecen ó se estrechan mucho. Las aguas

contenidas en estos receptáculos localizados, salen en parte al exterior por los manantiales que existen en algunos de los cerros que rodean á Cadereyta, y entre los cuales se cuentan los de Las Fuentes, al pie de la Loma Chata, y el de la hacienda de Quintillé, á media ladera del cerro del mismo nombre. A estas aguas las considero como de alimentación también para el estrato acuífero del valle, pues en parte, como vemos, se derraman en ese valle por manantiales, y otra parte es muy probable que se derrame á la profundidad, infiltrándose en las tobas del valle, en aquellos lugares en que salgan hasta estas tobas las leptoclasas profundas de la roca eruptiva que constituye á los referidos cerros.

La cantidad de agua que producen los manantiales de Las Fuentes es pequeña y en cantidad variable, lo cual se explica, tanto por la escasez de lluvias, como por lo pequeña que es la superficie de alimentación de esas leptoclasas acuíferas, superficie que en su mayor parte está constituída por rocas de permeabilidad muy localizada, y debida sólo á las grietas que surcan á esas rocas eruptivas de la región.

Las aguas phreáticas contenidas en el estrato acuífero del valle de Cadereyta, no serán abundantes probablemente, tanto por la escasez de lluvias en esa región, como por no ser del todo impermeable el fondo del receptáculo, sino de permeablidad localizada, como dije anteriormente.

Como se ve, en esta primera parte de la región se hallan dos clases de receptáculos acuíferos, con aguas phreáticas: el estrato del valle, y los que en forma de leptoclasas se encuentran en los cerros que rodean al

mismo valle; estos últimos unidos al primero, puesto que sus aguas sirven también de alimentación para el estrato acuífero del valle.

Conocida la forma de esos receptáculos, y sabiendo que no contienen aguas artesianas ni mucho menos brotantes, sino aguas phreáticas, se comprende que los pozos artesianos abiertos en el valle de Cadereyta no darían ningún resultado, ni tampoco se puede aconsejar la apertura de socavones en los cerros que forman la anchurosa muralla que rodea á Cadereyta, puesto que existiendo el agua en estos cerros sólo en leptoclasas acuíferas, irregulares é interrumpidas por una parte, y siendo por otra muy pequeña, como dije antes, la superficie de alimentación de esas leptoclasas, y muy escasas también las lluvias en esa zona, lo más probable sería que los referidos socavones produjeran muy poca agua, casi en cantidad despreciable, y el éxito de esas costosas obras no estaría garantizado por ningún fundamento científico.

No existen en esta primera parte de la región vetas ó fallas, ni en general paraclasas, que al surcar al terreno desempeñaran el papel de profundos tajos naturales para el drenaje de los mismos terrenos, y por lo tanto, sólo se puede aprovechar el agua que sale por los manantiales de Las Fuentes, y el agua phreática profunda, contenida en el estrato del valle. El agua de los manantiales está ya aprovechada, se recoge en una fuente especial y se destina á usos domésticos; y en cuanto á la agua phreática profunda, se puede utilizar en Cadereyta, abriendo una noria en el lugar que se encuentra entre los manantiales de Las Fuentes y la Presa del Llano, y cuyo lugar me parece ser el mejor, por encon-

trarse muy cercano, tanto á Las Fuentes como á la Presa del Llano, depósitos éstos destinados á contener las aguas pluviales, y cuyas filtraciones, que son notables, aumentarán la cantidad de agua del estrato acuífero subterráneo en ese lugar, cantidad de agua que, repito, no será mucha, por las razones ya indicadas. La noria alcanzará al agua casi al llegar al contacto con las rhyolitas que forman el fondo del estrato en ese lugar, y á cuya profundidad, para obtener mayor cantidad de agua, será conveniente abrir en cruz cuatro galerías. una de las cuales se dirigirá hacia la Loma Chata, que está formada, como he dicho, por rhyolitas con litofisas.

Las aguas phreáticas profundas contenidas en el estrato acuífero del valle, serán potables probablemente, pues se encontrarán ya muy filtradas después de atravesar las tobas blancas y marillentas, y las brechas con pómez que rellenan al valle de Cadereyta Méndez.

Hidrología interna de los planos inclinados que descienden de los cerros que rodean á Cadereyta, para el río de San Juan.

Como dije al hacer la descripción topográfica de la región en estudio, por todas partes desciende el terreno una vez pasada la muralla que rodea á Cadereyta; ya en suave pendiente por el Oeste para Tequisquiapan; ó bien en escalones rugosos, por el Sur y el Este, para Patehé y la Mesa del León. Todo este terreno que forma la segunda parte en que he dividido la región, está formada por rocas eruptivas, en lajas en la parte superior, y compactas hacia la profundidad; y en algunos luga-

res la parte superficial de la formación está cubierta por caliches, ó por tobas blancas y á las veces amarillentas. En Taxhidó, como dije en otro lugar, las tobas se encuentran intercaladas entre varios escurrimientos labradoríticos, y esta roca está en lajas, en la parte superior, y compacta en el fondo de la barranca de ese nombre.

En esta parte de la región encontramos también dos clases de rocas: unas de permeabilidad localizada, y las otras de permeabilidad continua; las primeras son las andesitas, rhyolitas y labradoritas agrietadas, y las segundas, que cubren en parte solamente á las primeras, son las tobas blancas y amarillentas. En la parte inclinada que baja hacia Tequisquiapan, una gran parte de la superficie del terreno está formada por las tobas; y en cambio, en la parte que desciende para Patehé y Taxhidó, sólo en tramos se observan las referidas tobas, pues á la superficie se encuentran por lo general las labradoritas.

La superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos en esta zona es muy extensa, y formada por la parte superficial de las tobas, y por los tramos localizados en que se encuentran las andesitas y labradoritas en lajas. Además, en esta superficie debe comprenderse también la del valle de Cadereyta, pues como dije antes, las aguas del estrato acuífero del valle alimentan en parte á estos receptáculos, y sobre todo á los que se encuentran rumbo á Taxhidó, que es la parte más baja de esta región.

La zona de alimentación de los receptáculos que existen de Cadereyta para Tequisquiapan, está formada por las tobas superficiales; y de los que se hayan por

Taxhidó y Tetillas, está constituída por las leptoclasas capilares que á la superficie surcan, á las labradoritas y andesitas.

La zona activa está formada en la mayor parte de estos receptáculos, por leptoclasas (grietas irregulares) y en los que se encuentran hacia Tequisquiapan, la zona activa afectará la forma de lentes unidas, formadas por tobas, y limitadas en parte por los afloramientos rhyolíticos que separan á estos depósitos de tobas.

El fondo de todos estos receptáculos está formado por roca eruptiva, la cual, á la profundidad, no estará ya surcada por leptoclasas, ó se habrán estrechado éstas tanto, que permiten considerar ese fondo como relativamente impermeable, en la mayor parte de su extensión.

Las aguas contenidas en estos receptáculos serán phreáticas, pues se encuentran bajo terrenos permeables, ó en grietas localizadas, irregulares y estrechas, que no permiten el desarrollo de la presión hidrostática.

Las aguas pluviales infiltradas en esta región, atravesarán por los poros de las tobas hasta llegar á las rocas compactas, por cuya superficie escurrirán; ó después de bajar por las grietas superficiales de las rocas eruptivas hasta la parte compacta, más ó menos profunda de éstas, saldrán al exterior á este nivel, y por otras grietas que constituirán los manantiales.

Los receptáculos acuíferos subterráneos de esta parte de la región, son por lo dicho anteriormente: lentes acuíferas, unidas á las veces, é irregulares, en las tobas que descienden hacia Tequisquiapan; y leptoclasas acuíferas irregulares y localizadas, en las rocas com-

pactas de Tetillas, Quintillé, Taxhidó y toda la zona del Sur y el Este de Cadereyta.

Las aguas phreáticas de las leptoclasas irregulares salen por manantiales en las faldas de los cerros, y al nivel del fondo compacto, como se observa en Tetillas, Quintillé y otros lugares; y las aguas phréaticas de las lentes acuíferas, siguiendo caminos irregulares, aumentan el gasto de los manantiales que existen en las vegas del río de San Juan. Entre estos manantiales se cuentan los de Tequisquiapan, Patehé y Taxhidó, y de los cuales haré un estudio especial cuando haya concluído la análisis de sus aguas.

En la región de Taxhidó, como dije en otro lugar, existe una sucesión de escurrimientos labradoríticos y de tobas intercaladas; es decir, existe una superposición de rocas de permeabilidad localizada y de permeabilidad continua; pero como estas últimas no salen á la superficie del terreno sino en el corte acantilado de la barranca de Taxhidó, y están cubiertas por las labradoritas en lajas que se encuentran á la superficie, la cantidad de agua contenida en estas tobas es muy pequeña, y reducida sólo á la que pueda atravesar á las labradoritas superficiales, agua que aumentará probablemente el gasto de los manantiales de Taxhidó, que se encuentran en el fondo de la misma barranca.

La cantidad de agua contenida en las lentes y leptoclasas acuíferas, que se encuentran en la parte de la región que desciende de Cadereyta para el río de San Juan, es pequeña sin duda; pues además de la escasez de lluvias, los receptáculos son irregulares y muy reducidos, y por esto es que los manantiales de Tetillas, Quintillé, y otros de la región, vierten una cantidad de agua verdaderamente despreciable.

En esta parte de la región, en la cual no existen aguas artesianas, no darían ningún buen resultado los pozos perforados con objeto de capturar esas aguas profundas, ni puede recomendarse la ejecución de ninguna obra, pues siendo las aguas phreáticas escasas, hasta las norias producirán poca agua.

Terminado ya el estudio hidrológico interno de la parte eruptiva de la región de Cadereyta, paso á ocuparme de la zona cretácica de San Juan de la Rosa, que está separada del valle de Cadereyta por los cerros de las haciendas del Rincón y Santa Bárbara, y en cuya zona las lluvias son mucho más frecuentes y abundantes, según los datos que se me proporcionaron en la localidad.

Hidrología interna de la serranía de San Juan de la Rosa.

La serranía de San Juan de la Rosa está formada, como he dicho, por calizas en gruesos bancos, cubiertos por pizarras arcillosas surcadas por sinclasas, y por lo mismo las rocas son de permeabilidad localizada.

La superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos contenidos en esta región, está formada por la superficie de la misma serranía, la que siendo de permeabilidad localizada, sólo permite la infiltración de las aguas superficiales por los planos estratigráficos de las pizarras arcillosas y por las sinclasas capilares que las surcan.

La zona de alimentación, así como la zona activa, están constituídas por los referidos planos estratigráficos; y el fondo del receptáculo será la caliza compacta,

en gruesos bancos que se encuentra bajo las pizarras ó las mismas pizarras en la parte en que se doblan, formando pliegues sinclinales, como sucede cerca del arroyo de San Juan de la Rosa.

El agua contenida en esos planos estratigráficos acuíferos, debe considerarse como agua phreática, pues están cubiertos esos receptáculos por pizarras, que aunque impermeables por naturaleza, están surcadas por grietas que las hacen de permeabilidad localizada, y que impiden, por lo mismo, el desarrollo de la presión hidrostática en los referidos receptáculos; los que, además, son muy estrechos, reducidos sólo á los huecos existentes en los mencionados planos estratigráficos; y casi superficiales, pues á poca profundidad se encuentran los bancos de caliza compacta.

El agua contenida en los anteriores planos estratigráficos acuíferos, desagua en parte por varios manantiales que se encuentran en los arroyitos que surcan á las pizarras, normal ú oblicuamente al rumbo de ellas. El resto de las aguas, hundiéndose más, por los mismos planos estratigráficos, llegará hasta las rocas eruptivas que se encuentran en los cerros del Rincón y Santa Bárbara. Estas últimas aguas, que para una sección determinada de la barranca de San Juan de la Rosa, pueden considerarse como aguas permanentes en la zona pasiva del receptáculo, no son sino aguas que brotan en los manantiales que se encuentran más abajo de la sección considerada y en la misma barranca; y esa zona pasiva de la primera sección, no es sino la zona activa de las secciones más bajas de la misma barranca.

En esta parte de la región en estudio, las lluvias son

más frecuentes y abundantes, como he dicho varias veces, y aunque la superficie de alimentación es localizada, y reducida á las grietas superficiales (sinclasas ó planos estratigráficos), la cantidad de agua que sale por los manantiales de San Juan de la Rosa es muy regular, comparada con la que producen los otros manantiales de la región, situados en la formación eruptiva, pues siendo éstos de un gasto casi despreciable, los de San Juan de la Rosa reunidos darán un litro por segundo. Esta cantidad de agua es susceptible de aumento probablemente, pues abriendo un socavón en la barranca de Velázquez, con rumbo normal al de las pizarras arcillosas, y hasta llegar á los bancos compactos de caliza, se cortarían varios estratos, algunos acuíferos, y siguiendo con una galería el estrato más acuífero, podría conseguirse probablemente una cantidad de agua mucho mayor de la que producen ahora los manantiales de San Juan; y al capturar las aguas con esa galería, en la parte superior de los receptáculos, saldría por el socavón toda el agua que ahora sale por diversos manantiales situados en diversos puntos de la barranca hacia la parte baja.

Estas aguas sólo servirán para aumentar la cantidad de agua potable de que dispone ahora la ciudad de Cadereyta, pues para el riego de las tierras del valle del mismo nombre, la cantidad sería insignificante. Para hacer el riego de estas tierras, es inútil pensar en las aguas subterráneas de la localidad, pues como se comprende por todo lo anterior, la cantidad de esas últimas es muy pequeña, tanto por la escasez de lluvias en la mayor parte de la región, como por lo reducidos que son los receptáculos acuíferos subterráneos de la zona estudiada.

Antes de terminar esta parte de mi estudio, y en vista de la necesidad de obtener agua para el riego de las tierras en esa región, y conociendo por otra parte la topografía de ésta, debo decir: que en la barranca de Velázquez, marcada con la letra "A" en el plano adjunto, puede construirse una gran presa, cuyas aguas podrían utilizarse en el riego de las tierras del valle de Cadereyta. En esa barranca las lluvias son relativamente más frecuentes y abundantes, la rinconada es bastante amplia, y el terreno se levanta allí, primero suavemente del arroyo de San Juan de la Rosa, y luego con rapidez para la serranía de ese nombre, estando las pizarras arcillosas cubiertas por caliches en la parte ligeramente inclinada de la barranca, parte que formaría el fondo de la presa indicada, y que sería relativamente impermeable por estar cubierto con los referidos caliches. Para llevar estas aguas al valle de Cadereyta, abría que hacer un canal, de la presa, y faldeando los cerros del Rincón, hasta la boca de un túnel que tendría que abrirse en el puerto que une al cerro Frío con el de Santa Bárbara, y hasta salir á la barranca que se encuentra arriba de la Venta "El Siglo XX," desde donde podrían distribuirse después las aguas por todo el valle de Cadereyta. El mismo trayecto, pero entubadas, seguirían las aguas potables de los manantiales y del socavón y galería de drenaje que se abrieran en la misma rinconada de Velázquez. Todo este proyecto va indicado en el adjunto plano, por medio de una línea negra y gruesa. No estudié los detalles de estos proyectos, por no apartarme de mi comisión, que fué solamente el estudio de la geología é hidrología interna de la región de Cadereyta Méndez.

Como se ve, la zona de San Juan de la Rosa es la más interesante de la región, tanto porque de ella puede obtenerse agua potable, aunque no en gran cantidad, como por encontrase allí un lugar apropiado para la construcción de una presa que podrá proporcionar el agua necesaria para el riego de las tierras del valle de Cadereyta.

Conclusiones.

El estudio anterior, puede resumirse en las siguientes conclusiones:

La región que motiva este estudio, ó sea la zona comprendida en veinte kilómetros alrededor de la ciudad de Cadereyta Méndez, está constituída en su mayor parte por rocas eruptivas terciarias, andesitas, rhyolitas y labradoritas ó basaltos pobres de olivino; y en la parte Noreste de la región se encuentra la formación sedimentaria cretácica, compuesta de calizas y pizarras arcillosas.

La región es accidentada en lo general; las lluvias son escasas; y las aguas corrientes superficiales alimentan á los ríos de San Juan, y el de Tolimán, que más abajo se une al primero.

No existen aguas artesianas en esa región, ni mucho menos brotantes; pero sí existen estratos con aguas phreáticas, y leptoclasas y planos estratigráficos por los cuales circulan aguas subterráneas.

No es de recomendarse la apertura de pozos artesianos en ninguna parte de la región estudiada, pues no existiendo aguas que puedan brotar, lo más probable sería el fracaso completo.

Las aguas phreáticas, generalmente profundas, que se encuentran en la mayor parte de la localidad, y que probablemente no serán abundantes, pueden aprovecharse abriendo norias que serán más ó menos profundas, para alcanzar las aguas phreáticas al llegar al contacto de las tobas con las rocas eruptivas del fondo, y siempre que éstas no se encuentren muy surcadas por grietas (leptoclasas), que permitan á las aguas seguirse infiltrando en el fondo eruptivo. Estas aguas serán, por lo general temporales, y en pequeña cantidad, por ser escasas las lluvias en la región.

En el valle de Cadereyta no existen ahora más aguas potables, que las que salen por el manantial de Las Fuentes, y las que se reunen en las mismas Fuentes.

Para usos domésticos pueden emplearse las aguas phreáticas que existen en el valle, abriendo una noria entre Las Fuentes y la Presa del Llano, depósitos éstos de las aguas pluviales, y cuyas filtraciones, que son notables, se alcanzarían con esta noria al llegar á las rhyolitas del fondo, y á cuya profundidad será conveniente abrir cuatro galerías en cruz, de las cuales se dirigirá una hacia la Loma Chata, y podrá obtenerse por este medio mayor cantidad de agua.

Para surtir de agua potable á la ciudad de Cadereyta, pueden reunirse las que brotan en el arroyo de San Juan de la Rosa, cerca del lugar llamado Velázquez; y abrir un socavón en ese lugar y normal al rumbo de las pizarras, el que probablemente al cortar algunos estratos, encontrará filtraciones, y siguiendo con una galería el plano estratigráfico más acuífero que se alcance, se lograría aumentar probablemente la cantidad de agua que ahora sale por los manantiales de esa región, y cuyas aguas son potables.

Para el riego del valle de Cadereyta. puede construirse una presa en el mismo lugar llamado Velázquez, que se encuentra en el arroyo de San Juan de la Rosa, y cuyo lugar está á 100 metros sobre el nivel de Cadereyta. Esta presa puede recoger bastante agua, tanto porque en ese lugar las lluvias son mucho más frecuentes y abundantes que en el valle de Cadereyta, según me informaron, cuanto porque el terreno se presta para formar un depósito bastante grande.

Para poder llevar á Cadereyta, tanto las aguas potables como las destinadas al riego, hay necesidad de abrir un túnel, para perforar la muralla que por todas partes rodea al valle de Cadereyta, túnel que deberá abrirse en el puerto que une al cerro Frío con el de Santa Bárbara; y después llevar un canal de la boca del túnel para la rinconada de Velázquez.

Tanto la apertura del socavón en las pizarras, como la construcción de la presa en Velázquez, y la perforación del túnel en las andesitas del puerto de cerro Frío, no las considero relativamente costosas, pues los terrenos son blandos para la perforación, y para la construcción de la presa existen en el mismo lugar todos los elementos: cal medianamente hidráulica se puede obtener quemando los caliches que forman el capote que cubre á los cerros de San Juan de la Rosa; la piedra de buena calidad se encuentra en las faldas de los cerros del Rincón; agua para la construcción hay en los manantiales de aquel lugar y la arena se encuentra en el mismo arroyo de San Juan de la Rosa.

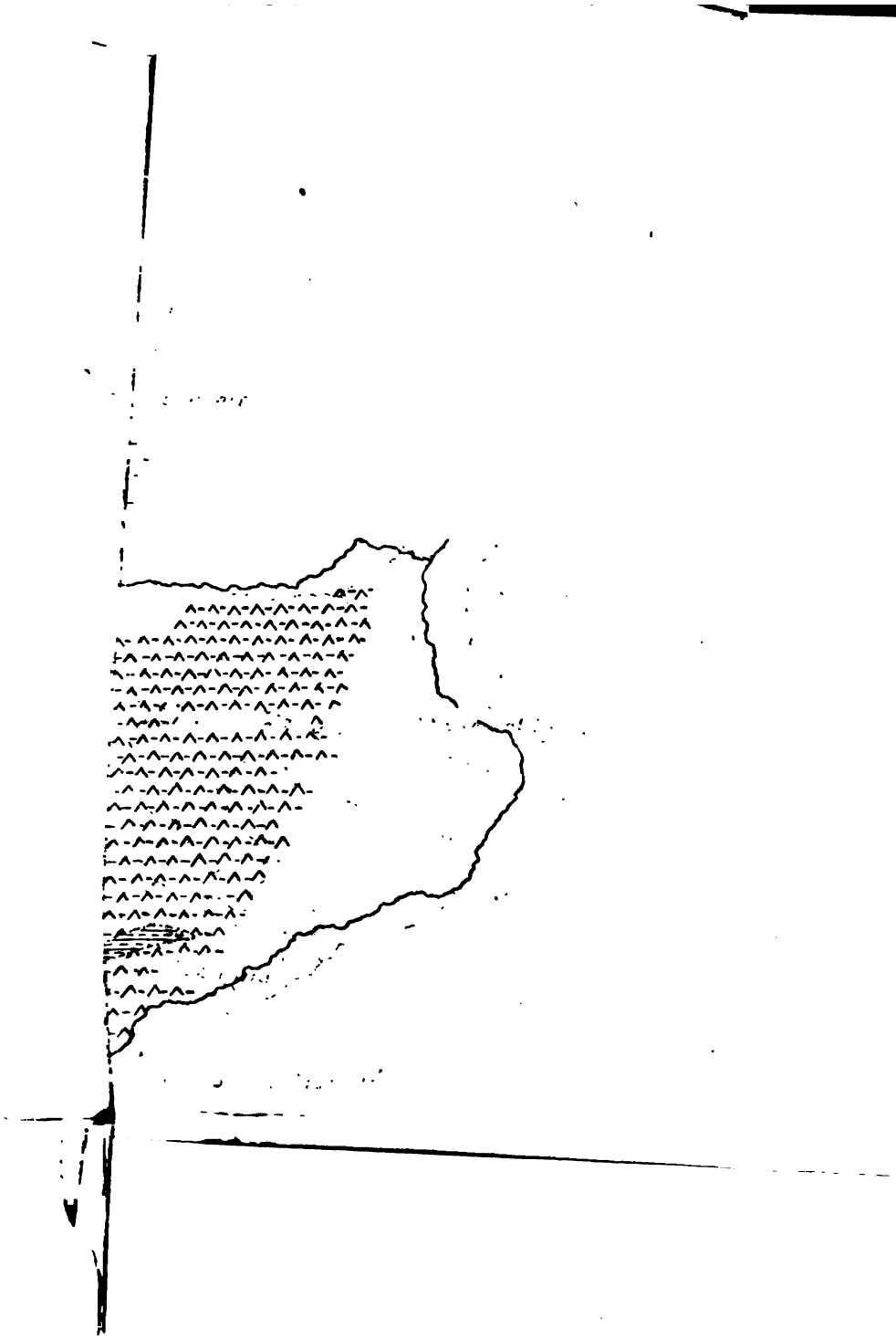
No hice el trazo, estudio y cálculos relativos á estas obras, por no apartarme de mi comisión, que fué sólo

el estudio de la geología é hidrología interna de esa localidad.

Creo que no puede recomendarse ninguna otra obra para capturar las aguas subterráneas de la región de Cadereyta, pues no se encontraría fundamento científico que garantizara el éxito de ninguna de ellas.

Las aguas phreáticas contenidas en los receptáculos acuíferos subterráneos que se hallan en esa región, y que he descrito ya, son las únicas aguas subterráneas que existen en la región de Cadereyta Méndez, en el Estado de Querétaro.

México, Octubre 15 de 1901.



PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 7.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

ESTUDIO

DE

UNA MUESTRA DE GRAFITA DE EJUTLA, ESTADO DE OAXACA,

POR EL ING. J. D. VILLARELLO.

ANALISIS DE LAS CENIZAS

DEL

VOLCAN DE SANTA MARIA, GUATEMALA,

POR EL

INGENIERO E. ORDOÑEZ.

MEXICO

OFICINA TIPOGRAFICA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO.

BETLEMITAS NUMERO 8.

1904

ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE GRAFITA

DE EJUTLA, ESTADO DE OAXACA.

Por el Ingeniero de Minas, Juan D. Villarello.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS.

La muestra mineral es de color negro de hierro, lustre metálico, dureza de 2, densidad variable según los fragmentos, entre 2.27 y 2.49, es untuosa al tacto, mancha los dedos, y sobre el papel deja una huella de color gris. Por estos caracteres físicos debe clasificarse como grafita.

***

Para ensayar este mineral seguí el método de F. S. Ayde,[1] después de secar la muestra en la estufa á la temperatura de ebullición del agua, y obtuve los siguientes resultados:

Humedad.	0.51%
Materias volátiles	2.99
Carbón fijo.	72.40
Cenizas	24.10
Suma . . .	100.00%

1 The Mineral Industry. New York y London. 1901. Tomo IX, pág. 381.

Procedí en seguida á hacer la análisis de las cenizas. El reconocimiento cualitativo indicó la presencia de los siguientes componentes:

SiO^2, Fe^2O^3, Al^2O^3 y vestigios de CaO.

Fundí las cenizas con 4 partes de carbonato de potasa sodado, traté la masa fundida por ClH y H^2O, evaporé á sequedad, humedecí el residuo con ClH, evaporé de nuevo á sequedad y luego traté por ClH y H^2O. La parte insoluble formada por SiO^2, después de filtración y lavado, la calciné y pesé. La disolución ácida la precipité en caliente por K^2O, y lavé, calciné y pesé el precipitado de Fe^2O^3. La solución alcalina anterior la neutralicé con ClH, y precipité Al^2O^3 con AzH^3, precipitado que lavé, calciné y pesé. Los resultados de esta análisis cuantitiva fueron los siguientes:

		Contenida en el 24.10 p.g de ceniza.	Contenida en 100 partes de ceniza.
Siliza	$Si\,O^2$	13.16	54.56 p.00
Sexquióxido de fierro	Fe^2O^3	9.40	38.97 „
Alúmina	Al^2O^3	1.56	6.47 „
Cal	Ca O	vestigios.	vestigios.
Suma		= 24.12	100.00

ESTUDIO INDUSTRIAL.

La muestra mineral cuya análisis antecede es una grafita, conocida también con los nombres de plombagina ó plúmbago, y sus aplicaciones en la industria son tan numerosas como grande su consumo.

En varias naciones y principalmente en los Estados Unidos y en Inglaterra, la cantidad de grafita consumida anualmente alcanza cifras muy elevadas, y como la producción en las dos últimas es muy inferior al consumo, la importación es considerable, no obstante que desde el año 1897 se está produciendo también la grafita artificial en los Estados Unidos.

Para tener una idea acerca de las cantidades de grafita que representan la producción y el consumo en los Estados Unidos, me parece interesante el siguiente cuadro estadístico:[1]

GRAFITA NATURAL.

AÑOS.	PRODUCCION.		IMPORTACION.		CONSUMO.	
	Toneladas métricas.	Precio oro.	Toneladas métricas.	Precio oro.	Toneladas métricas.	Precio oro.
1891	648	$ 75,350	9,641	$ 555,080	10,325	$ 630,430
1892	589	649,200	10,602	667,775	11,191	732,695
1893	400	39,731	13,112	865,379	13,512	905,110
1894	350	34,689	5,284	225,720	5,634	260,409
1895	171	17,286	9,136	260,111	9,307	277,397
1896	184	18,225	15,356	437,189	15,540	455,411
1897	450	44,691	8,677	270,952	9,127	315,643
1898	748	82,385	13,710	743,820	14,458	826,205
1899	1,649	145,304	18,880	1.990,649	20,529	2.135,953
1900	1,862	164,122	14,663	1.390,141	16,525	1.554,263
1901	1,801	135,914	14,563	895,375	16,364	1.031,269

1 The Mineral Industry. Tomos IV. pág. 375; V, pág. 326; X, pág. 367. Mineral Resources of the United States. 1903. Washington. pág. 900. Los datos fueron reducidos al sistema métrico decimal.

GRAFITA ARTIFICIAL.			
AÑOS.	PRODUCCION.		
	Toneladas.	Precio total oro.	Precio oro por tonelada.
1897.....	78	$ 10,149	$ 189
1898.....	84	11,608	188
1899	184	32,475	176
1900.....	390	68,860	176
1901.....	1,135	119,000	104

Las principales aplicaciones de la grafita en la industria son las siguientes: fabricación de lápices, crisoles refractarios y pinturas para estufas y para resguardar techos de lámina ó piezas de fundición, así como chimeneas ó calderos, para lo cual es muy duradera; se emplea como lubricante y también para cubrir la superficie de los granos de pólvora y la munición; se usa en la galvanoplastía para hacer conductora la superficie de los moldes, y en el trabajo electrometalúrgico, para fabricar electrodos; y se utiliza en los cepillos para dinamos y para cubrir los moldes en que se vacía la fundición de fierro.

Para la manufactura de lápices y para la fabricación de lubricantes se necesita grafita de calidad muy fina; y para saber si la muestra en estudio puede usarse en estas aplicaciones, compararé su composición química y su estructura física con la grafita de varias localidades llegando á los siguientes resultados.

Para comparar con facilidad la composición química de la grafita enviada de Ejutla, Estado de Oa-

xaca, con la de grafitas de buena calidad y de distintas procedencias formé el siguiente cuadro, tomando las análisis de Ch. Mene [1] y otras del Report of Geological Survey of Canada:

COMPOSICION QUIMICA DE VARIAS GRAFITAS.

PROCEDENCIA.	Densidad.	Materias volátiles. — Por ciento.	Carbón. — Por ciento.	Cenizas. Por ciento.	COMPOSICIÓN DE CENIZAS. Sílica. — Por ciento.	Alúmina. — Por ciento.	Oxidos de fierro. — Por ciento.	Cal. — Por ciento.	Alcalis y pérdida. Por ciento.
Ceylán	.....	0.158	99.792	0.050	.....	.....	.....	.....	.....
Ceylán	2.35	0.10	94.40	5.50	.....	.....	.....	.....	.....
Buckingham	.....	0.109	99.815	0.076	.....	.....	.....	.....	.....
Oural, Alibert	2.17	0.71	94.03	5.25	64.2	24.7	10.0	0.8	0 3
Borrowdele	2.34	1.10	91.55	7.35	52.5	28.3	12.0	6.0	1.2
Mugran	2.12	4.10	91.05	4.85	61.2	28.5	8.0	0.7	1.0
Schwarzbach	2.17	1.05	88.05	10 90	62.0	28.5	6.3	1.5	1.7
Passau	2.39	7.30	81.02	11.62	53.7	35.6	6.8	1.7	2.2
Ejutla, Oaxaca	2.38	2.99	72.40	24.10	54.56	6.47	38.97	Vestigios	.....

Como se ve en el cuadro anterior la grafita de Ejutla ocupa el último lugar por su composición química, pues tiene mucho menos carbón y más cenizas que las reconocidas como de buena calidad. Con el objeto de ver si es posible purificarla, procedí de la siguiente manera:

Hice tamizar la muestra, tal como fué remitida, por telas de distintos números, y obtuve el siguiente resultado:

1 Wagner & Gautier. Nouveau Traité de Chimie Industrielle. Paris. 1879. Tomo II, pág. 872.

Quedó en la tela del número	20 — 40.1 p.%	
" " " " " "	30 — 11.0	55.5 por ciento. Ensaye núm. 2.
" " " " " "	40 — 16.2	
" " " " " "	50 — 6.8	
" " " " " "	60 — 21.5	
" " " " " "	80 — 11.3	
" " " " " "	100 — 0.5	
Pasó por " " " "	100 — 2.6	
Suma.....	100	

Ensayé el polvo de grafita que quedó desde la tela del 30 hasta la del 60 inclusive, y que representa el 55.5% del total de la muestra tamizada. El resultado fué el siguiente:

Ensaye número 2.

Humedad.	0.40%
Materias volátiles.	1.65
Carbón	79.95
Cenizas	18.00
Suma . . .	100.00%

Se pulverizó en seguida la grafita que había quedado en la tela del número 20, y este polvo se hizo pasar por todos los tamices y quedó:

En la tela del número	30 — 14 p.%	Ensaye número 3.
" " " " "	40 — 24 "	
" " " " "	50 — 11 "	
" " " " "	60 — 5 "	
" " " " "	80 — 8 "	
" " " " "	100 — 3 "	
Pasó por la tela del nº	100 — 35 "	Ensaye número 4.
Suma.....	100	

Ensayé luego por separado el polvo que quedó en las telas, y la que pasó por la del número 100.

Ensaye número 3.

Humedad	1.00%
Materias volátiles	2.50
Carbón	63.00
Cenizas	33.50
Suma. . . .	100.00%

Ensaye número 4.

Humedad	0.90%
Materias volátiles	2.20
Carbón.	60.90
Cenizas	36.00
Suma. . . .	100.00%

Por los resultados anteriores se comprende: que las partes gruesas de la muestra son las más impuras; y que separando éstas por medio de telas, se puede obtener un producto que representa la mitad aproximadamente del peso total del mineral, y que contiene un 7.5% de carbón más que el mineral en conjunto, y un 6% menos de cenizas.

Procedí en seguida á purificar la grafita en estudio por el sistema empleado en Austria [1] y también en México, en las minas de Torres. Al efecto pulvericé la grafita con un exceso de agua y dejé asentar en un depósito la parte más pesada y en otro la más ligera.

En el primer receptáculo se depositó el

	32%	Ensaye número 5.
Y en el segundo	54	„ „ 6.
Suma	86%	

1 The Mineral Industry. Tomo 20. 1893. pág. 336.

Los resultados de los ensayes de estos depósitos fueron los siguientes:

Ensaye número 5.

Humedad	0.7%
Materias volátiles	2.1
Carbón.	66.8
Cenizas	30.4
Suma . . .	100.0%

Ensaye número 6.

Humedad	0.5%
Materias volátiles.	1.8
Carbón.	81.6
Cenizas.	16.1
Suma. . . .	100.0%

Se comprende por estos resultados, que el sistema de molienda y lavado purifica la grafita en estudio y da un producto que, si no es comparable con las excelentes grafitas de Ceylán, se aproxima por su composición química á la plombagina de Passau y Baviera.

Para terminar la purificación de la grafita en estudio, seguí el método de Brodie, mezclando el polvo fino lavado con la vigésima parte de su peso de clorato de potasa y con el doble de su peso de ácido sulfúrico de densidad 1.8; calenté á una temperatura moderada hasta que ya no se desprendieron vapores de cloro; lavé por decantación con agua; sequé la masa, calenté al rojo y traté el residuo por agua, recogiendo la parte más

ligera. El ensaye de esta grafita purificada dió los siguientes resultados:

Ensaye número 7.

Humedad.	0.70%
Materias volátiles.	1.05
Carbón	84.05
Cenizas.	14.20
Suma. . . .	100.00%

Como la grafita en estudio tiene bastante siliza, no se puede purificar por completo siguiendo este sistema, sino que habría necesidad de tratarla por el ácido fluorhídrico, como lo indica también Brodie; pero estos tratamientos químicos son costosos y antieconómicos para el presente caso, y por lo mismo creo conveniente la purificación parcial de la grafita en estudio por el sistema de simple lavado después de pulverizar el mineral.

La calidad de la plombagina depende más de su estructura física que de su composición química, razón por la cual fué necesario el estudio microscópico de la grafita de Ejutla. Por este estudio, que fué hecho por el Sr. Ing. E. Ordóñez, se llegó al siguiente resultado: la grafita de Ejutla es cristalina y se encuentra en láminas de seis lados, de los cuales tres están mucho más desarrollados que los otros tres, de tal suerte que parecen triángulos con los vértices truncados; el crucero de la base es perfecto, y aunque domina la estructura hojosa, en algunas partes es fibrosa; es por su estructura igual á la grafita de las minas de Torres en Sono-

ra; y se perciben perfectamente en el microscopio granos de óxido de fierro hidratado que constituyen una parte de las impurezas que contienen y que indicó la análisis química.

Los resultados del estudio anterior por una parte, y por otra, el hecho de que el mineral en estudio no aumenta de volúmen después de humedecerlo con ácido nítrico humeante, secarlo y calentarlo á una temperatura superior á 175°, permiten clasificar este mineral con M. Luzzi[1] como una grafita cuya estructura no es claramente hojosa.

Conocida ya la estructura física de la grafita en estudio, puedo decir que: para la fabricación de lápices no es muy apropiada, por ser impura, y estas impurezas son muy difíciles de eliminar por completo;[2] y tampoco es apropiada para la fabricación de lubricante, pues para este uso se requiere grafita de la mejor calidad, y suave en alto grado.

Para saber si una grafita puede usarse en la fabricación de crisoles refractarios, es preciso conocer el dato relativo á su incombustibilidad, pues este dato, según H. Putz,[3] es mucho más importante que el que se refiere á la fusibilidad de las cenizas. Comparando la incombustibilidad de varias grafitas, se forma el siguiente cuadro:

1 Annales des Mines.—10ª série, tomo III, pág. 54. 1903.
2 Annales des Mines.—10ª série, tomo III. pág. 51. 1903. M. L. de Launay.
3 Journal of Iron and Steel Institute. 1888. I. pág. 286.

LOCALIDADES.	ANALISIS.			Pérdida por ciento en la ignición de la grafita, privada de las materias volátiles y calculada para pesos iguales de carbón.				Horas transcurridas hasta obtener pesos constantes de la ceniza.
	Agua.	Carbón.	Cenizas.	1 hora.	2 horas.	3 horas.	4 horas.	
Ceylon, excelente calidad.....	0.0 %	97.5 %	2.5 %	89.74	96.16	100.00	100.00	3
Ceylon, buena calidad.....	7.5 „	83 5 „	9.0 „	71.85	85.50	93.85	99.60	8
Ceylon, ordinaria..	5.0 „	82.5 „	32.5 „	61.58	71.00	80.88	90.94	14
Pfaffenreuth, purificada.....	0.0 „	85.0 „	15.0 „	69.41	80.58	87.50	82.24	10
Idem lavada con fluorhídrico.....	0.0 „	70 0 „	Vestigios	94 50	97.50	100 00	.....	3
Ejutla.....	0 51 „	72.40 „	24.10 „	98.30	100.00	100.00	.....	2

Como se ve, la grafita de Ejutla es la menos incombustible de todas las comparadas; y como al quemarse se funde en parte la ceniza, creo no se podrán fabricar con ella crisoles de excelente calidad.

Por su composición química, es semejante esta grafita á la de Kaiserberg en St. Michel Styria y ésta es muy refractaria tanto por la incombustibilidad de su carbón, como por estar su ceniza formada principalmente por siliza. La análisis de esta grafita es la siguiente:[1]

1 The Mineral Industry. Tomo II, pág. 336. 1893.

C. carbón.	77.95%
SiO^2 siliza	13.04
Al^2O^3 Alúmina	6.12
Fe^2O^3 Sexquióxido de fierro . . .	0.44
CaO. cal	0.08
MgO Magnesia	0.07
K^2O Potasa.	0.43
Na^2O Sosa.	0.15
S. Azufre	vestigios.
Ph^2O^5 Fosfórico	0.01
H^2O Agua.	1.95
Suma.	100.24

No obstante la semejanza que existe entre esta composición química y la indicada antes para la grafita en estudio, la incombustibilidad de las dos es muy diferente; y si la de Kaiserberg se usa en la manufactura de crisoles refractarios, la de Ejutla no puede considerarse de clase superior para esta aplicación.

Para las otras aplicaciones industriales de la grafita, ó sea: para la fabricación de pintura, para eléctrodos y cepillos para dinamos, para cubrir la superficie de los granos de pólvora y municiones, así como los moldes en que se vacía la fundición de fierro, no se necesita mineral de muy buena calidad;[1] y por lo mismo para todas estas aplicaciones puede usarse la grafita en estudio, y con buenos resultados si se purifica por el lavado como dije antes.

1 The Mineral Industry. 1900. Tomo VIII, pág. 348.

ESTUDIO COMERCIAL.

Muy pocos datos comerciales podré indicar, pues la etiqueta que acompaña á la muestra, no indica con exactitud la localidad de la cual procede ésta, ni viene una muestra de la roca que acompaña á la grafita, ni dato alguno geológico que permitiera juzgar acerca del valor comercial del yacimiento; y, por lo tanto, me limitaré á indicar el precio probable que tendría esta muestra purificada, y los mejores mercados extranjeros para la venta de este producto mineral.

Atendiendo á su precio, la grafita se divide en cuatro clases; pedazos grandes, pedazos medianos, astillas y polvo. Las dos primeras clases valen aproximadamente de $73.00 á $90.00 oro, la tercera de $64.00 á $73.00, y el polvo de $50.00 á $64.00 por tonelada métrica. Los precios anteriores varían mucho, y así por ejemplo: en 1899, á principios del año, se vendió el polvo de grafita á $25.00 tonelada, y á fines de ese año el polvo valía $55.00; en 1900 subió el precio un 18.24%, y en 1901 bajó un 15.20%. Por lo mismo, y para conocer á la vez cuáles son los mejores mercados extranjeros, formé el siguiente cuadro de importaciones y precios de la grafita en diversas naciones y durante seis años, expresando las importaciones en toneladas métricas y los precios en pesos oro.

IMPORTACIONES DE GRAFITA* EN

AÑOS.	ALEMANIA.			AUSTRIA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.
1895	12 565	$ 425,000	$ 34	640	$ 10,426	$ 16
1896	18,718	450,000	33	697	11,241	16
1897	17,866	600 000	34	948	15,822	16
1898	20,269	950,000	47	1,109	18,159	16
1899	23,400	1.075,000	46	815	13,491	16
1900	22,495	955,000	42	305	5 337	18

AÑOS.	ESTADOS UNIDOS.			INGLATERRA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada	Toneladas.	Precio	Precio por tonelada.
1895	9,138	$ 260,111	$ 28	10,526	$ 887,100	$ 84
1896	15 356	437,189	28	13,861	1.121,195	81
1897	8,677	270,952	31	13,472	1.104,430	82
1898	13,710	743,820	54	15,113	1 506,805	100
1899	18,880	1 990,649	105	17,777	2.307,935	130
1900	14,668	1.390,141	94	14,962	1.733,805	116

AÑOS.	SUECIA.			ITALIA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.
1895	134	$ 7,244	$ 54	261	$ 12,978	$ 60
1896	135	7,811	54	204	12,264	60
1897	158	8,519	54	315	18,882	60
1898	167	9,008	54	382	26,726	70
1899	162	8,729	54	608	42,581	70
1900	213	11,486	54	982	68,740	70

* The Mineral Industry, 1900.

Por los datos anteriores, se ve que: con excepción de Austria, en todas las demás naciones el precio de la grafita subió notablemente desde el año de 1898; en Austria, Suecia é Italia, la importación es relativamente pequeña; y en Alemania, Estados Unidos é Inglaterra la importación de la grafita es considerable, siendo los precios medios en Alemania, $45.00; en Estados Unidos, $81.00 y en Inglaterra $115 por tonelada métrica.

Como la grafita en estudio se encuentra la mayor parte en polvo, puede decirse que: purificada podrá venderse en Alemania, Estados Unidos é Inglaterra á $45.00 aproximadamente, por tonelada métrica.

CONCLUSIONES.

Como resumen de todo lo anterior, pueden formularse las siguientes conclusiones:

1.ª—La muestra mineral estudiada es una grafita impura, constituída la impureza principalmente por siliza y óxido de fierro hidratado.

2.ª—Puede purificarse parcialmente esta grafita por pulverización y lavado con agua, y dará entonces un producto semejante á la grafita de Passau (Baviera).

3.ª—Por su estructura física cristalina en láminas hexagonales, es igual á la grafita de Torres (México).

4.ª—No es muy refractaria por no ser muy incombustible su carbón, y ser en parte fusibles sus cenizas.

5.ª—No es muy apropiada para la fabricación de lá-

pices, ni como lubricante por ser impura, ni para hacer crisoles, por no ser excesivamente refractaria.

6.ª—Se puede emplear, sobre todo después de purificarla por medio del lavado, para los siguientes usos: fabricación de pintura para estufas, chimeneas, calderos, piezas de fundición y techos de lámina, para cubrir la superficie de los granos de pólvora y municiones; en la galvanoplastía para hacer conductora la superficie de los moldes, para fabricar eléctrodos y también cepillos de dinamos; y por último, para revestir los moldes en que se vacía la fundición de fierro.

7.ª—Su precio es el de la grafita en polvo, aproximadamente $45.00 oro por tonelada métrica, y los mejores mercados para su venta son: Estados Unidos, Inglaterra y Alemania.

8.ª—Los datos indicados en este estudio no pueden servir por sí solos para determinar el valor comercial del yacimiento, pues faltan los datos muy interesantes relativos á la ubicación y condiciones geológicas del yacimiento del cual proviene la muestra estudiada.

Instituto Geológico. México, Julio 31 de 1903.

LAS CENIZAS DEL VOLCAN DE SANTA MARIA

POR EL INGENIERO E. ORDÓÑEZ.

La apertura súbita de un nuevo cráter en la falda S.W. del volcán llamado de Santa María, en la República de Guatemala, situado cerca de la frontera con el Estado de Chiapas, se produjo con una abundante lluvia de cenizas que han cubierto una grande superficie del Sur de México. Las cenizas comenzaron á caer en los terrenos fronterizos desde la mañana del 25 de Octubre del presente año. Las noticias llegadas á la ciudad de México, de aquella lejana región del país, fueron de las más alarmantes, pues que tal fenómeno fué precedido de fuertes temblores, siendo uno de los más intensos el del 23 de Septiembre, que abarcó una zona muy considerable de la región istmica de México.

Los temblores en esta región y terrenos limítrofes de Guatemala, se han venido sucediendo con alguna frecuencia desde principios de este año. Una fuerte sacudida que tuvo lugar el mes de Abril, destruyó en parte la Ciudad de Quetzaltenango de la vecina República.

Las cenizas procedentes del volcán de Santa María cubren de una capa de varios decímetros de espesor

los campos y poblados de la frontera más inmediata al volcán y la lluvia se ha extendido á distancias muy considerables, no sólo en el Estado de Chiapas, sino también en Tabasco y en la parte Sur de los Estados de Veracruz y Oaxaca.

Más cerca del volcán, en los terrenos pastales, en los cafetales y otros terrenos cultivados, el espesor de las cenizas se hace elevar hasta un metro. En algunos lugares de Chiapas, como en Motozintla, la capa tiene cincuenta centímetros y en San Cristóbal las Casas sólo tiene un centímetro.

Las detonaciones que acompañaron las erupciones del volcán, se escucharon á gran distancia, como el ruido de un fuerte cañoneo.

Así lo refieren los habitantes de San Cristóbal.

Testigos presenciales dicen que el río Grijalva al pasar por la población de Chiapa de Corzo, llevó un día una gran cantidad de peces muertos, lo que se supuso provenir de la gran cantidad de cenizas que venían en suspensión en el agua.

***

El Instituto Geológico de México recibió un buen número de muestras de cenizas caídas en diferentes lugares del Estado de Chiapas.

Todas tienen, como es natural, la misma composición, aunque varía constantemente la proporción de cada uno de los minerales, y tamaño de las partículas. Los primeros ejemplares que recibimos proceden de las cenizas que fueron recogidas á bordo del barco "Luxor," que se hallaba frente al puerto de San Benito durante la lluvia del 25 de Octubre. Las otras fueron re-

cogidas en Tonalá. Ambas muestras tienen exactamente la misma composición y el mismo tamaño medio las partículas. Tienen el aspecto de un polvo fino blanco débilmente agrisado, ligero y de tacto áspero.

Sometidas al examen microscópico, se ve que el tamaño de las partículas oscila entre $^{5}/_{00}$ y $^{12}/_{00}$ de milímetro, habiendo pocas partículas que alcanzan hasta $^{15}/_{00}$. La mayor parte del polvo consiste de partículas angulosas de un vidrio pumítico incoloro con numerosas cavidades y burbujas redondas, á veces estiradas, dando al vidrio la forma de fibras como en la pómez común. Tablitas incoloras ó granos irregulares, alumbrados bajo los nicols cruzados, revelan la existencia de feldespatos, en macles de la albita, sucesivos, con ángulo de extinción correspondiente á la andesina y otros al labrador. Estas partículas siempre vienen como pedazos de cristales á veces con zonas de crecimiento, pero suelen encontrarse tablitas pequeñas completas microlíticas con extinción longitudinal, de oligoclasa.

Hay dos clases de minerales coloridos, uno raro, en granitos irregulares de color ligeramente amarillo ó rosado, que parecen de olivino, y el otro en la forma de granos irregulares, de tablitas ó de barras de color intenso amarillo pardusco, verde azulado ó verde olivo, de muy débil dicroísmo y de ángulo fuerte de extinción en algunas barras prismáticas. Este mineral es la augita ferrífera común de todo un grupo de andesitas y á tal deberá de responder, según esta descripción, la composición de las lavas actuales del volcán de Santa María, de donde proceden las cenizas.

Sólo una muy pequeña aguja de apatita hemos encontrado aprisionada por el vidrio y es curioso que en

estas cenizas sean muy raras las partículas de fierro; las que son muy abundantes en las cenizas caídas en otras partes, como por ejemplo en las que cayeron en Tehuantepec, en las de San Cristóbal Las Casas, ó en las que nos remitieron de Tapachula.

De esta última localidad, tenemos numerosas muestras que fueron recogidas á diferentes horas durante la lluvia de los dos días 25 y 26 de Octubre. Las cenizas más gruesas cayeron al principiar la lluvia en la mañana del 25, pues tienen las partículas de 4 á 5 décimos de milímetro. Son de color ligeramente gris. A la simple vista se observa en estas cenizas granitos de color más claro en la forma de esférulos de medio milímetro de diámetro. En el resto pudimos reconocer, como en las anteriormente estudiadas, pedazos de cristales de andesina, de labrador y de augita, fierro oxidulado (titano-magnetita), raros granos de olivino y pedacitos de pómez. En cuanto á los glóbulos, son muy ligeros, hasta flotar en el agua y al miscroscopio se reconocen como formados de partículas de vidrio aglomeradas, reteniendo á veces finos granos de augita ó microlitas y pedacitos de cristales de feldespatos. El modo de formación de estos glóbulos de vidrio, nos es desconocido. Suponemos que se han formado en la atmósfera durante la condensación de los vapores acuosos que acompañan la salida de las cenizas y por lo tanto estando aún calientes éstas. Los globulitos no tienen grande consistencia y se dejan romper al menor choque.

En las cenizas caídas en Tapachula durante el 25 de Octubre, disminuye poco á poco el tamaño de las partículas como el tamaño y número de los globulitos de vidrio. Las cenizas de ese mismo lugar, que cayeron

en la noche del 25 y mañana del 26, consisten en un polvo fino blanco análogo al de las cenizas caídas en Tehuantepec y en San Benito. La proporción de los minerales pesados, tales como el fierro y la augita varían constantemente, lo que depende seguramente de la intensidad y dirección de los vientos. En otras muestras, las cenizas cambian ligeramente de color, desde el blanco puro á diversos matices de gris, variando el color con la proporción de los elementos pesados.

De la composición mineral de las cenizas, se deduce que las lavas del volcán de Santa María son andesitas de augita, la misma composición que las lavas de ese volcán de erupciones anteriores, pues así han sido descritas por A. Bergeat en 1894.[1] La semejanza es completa hasta en los minerales accidentales; las cenizas traen la hiperstena y el olivino, como en las lavas de aquel volcán, descritas por el geólogo alemán.

Los recientes estudios del Prof. Lacroix[2] sobre los productos de las erupciones del mes de Mayo de 1902, del Monte Pelée en la Martinica, nos permiten hacer una comparación entre la naturaleza de ambos productos cineríticos. En efecto, Lacroix encuentra en las cenizas del Pelée, fragmentos de vidrio volcánico, plagioclasa, hiperstena y titanomagnetita, algunos cristalitos de augita y accesoriamente hornblenda. Las rocas de la erupción actual del Pelée son, pues, andesitas de hiperstena, las del Santa María son andesitas de au-

1 A. Borgeat.—Zur Kenntnis der jungen Eruptivgesteine der Republik Guatemala. Zeitsch. d. Deutsch. Geol. Ges. Berlin 1894.— El mismo autor asienta que en algunas lavas de Guatemala hay una hiperstena de muy débil pleocroismo, que aun por sus colores se asemeja mucho á la augita. Es, pues, probable que muchos de los granos coloridos de estas cenizas sean de hiperstena.

2 C. R. Académie des Sciences. Nos. 9-11 June-Septembre. 1902. Paris.

gita é hiperstena. Lacroix hace notar igualmente que los productos de la actual erupción del Pelée en nada difieren de los de la erupción de 1851.

El vidrio volcánico del Pelée no es en realidad, según Lacroix. una pómez. porque es compacto, con muy escasas burbujas, mientras que el de Santa María ya dijimos que contiene numerosas burbujas y tiene el aspecto característico de la pómez.

Estudios posteriores demostrarán el grado preciso de consanguinidad que debe de existir entre los productos de estos dos volcanes que han hecho erupción en fechas no lejanas una de otra; unas han causado millares de víctimas y otras han desolado una fértil comarca.

México, Noviembre 28 de 1902.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 8.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DE

LOS ALREDEDORES DE QUERETARO

POR EL INGENIERO
DE MINAS

JUAN D. VILLARELLO.

(Con tres láminas y dos figuras.)

MEXICO
IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO.
BETLEMITAS NUMERO 8.

1905

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

DE

LOS ALREDEDORES DE QUERÉTARO

Por el Ingeniero de Minas, Juan D. Villarello.

El Gobierno del Estado de Querétaro por una parte y varios particulares por otra, han emprendido obras importantes con objeto: el uno, de aumentar la cantidad de agua destinada á usos domésticos en la ciudad de Querétaro; y los otros, de acrecentar el gasto de algunos manantiales y aprovechar el agua, primero como fuerza motriz y después en el regadío.

El Instituto Geológico Nacional, á petición de los interesados, me comisionó para que estudiara la región en donde se han emprendido las referidas obras, y esta honorífica comisión me permite presentar el presente estudio relativo á la hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro.

La ciudad de Querétaro, capital del Estado de su nombre, se encuentra á los 29°35′41″.60 de latitud Norte, á 1°15′19″.95 de longitud Poniente de México, y á 1815 metros sobre el nivel del mar. La zona estudiada se extiende: de Querétaro hacia el Norte y el Este 19

kilómetros, 12 al Sur y 4 al Poniente de la referida ciudad.

FISIOGRAFÍA.

Al N.E. de Querétaro se levanta hasta 2952 m. el cerro llamado Pinal de Zamorano, que se encuentra en el Distrito de Tolimán y en la línea divisoria de las aguas que: hacia el N.E. descienden por el río Tolimán para el Moctezuma, afluente del Pánuco que desemboca en el Atlántico; de las que por el S.W. bajan por el río de Querétaro para el de La Laja, afluente del río Lerma, el cual arroja sus aguas en el lago de Chapala, y de éste por el río Tololotlán llegan al Océano Pacífico.

Al Sur de Pinal de Zamorano se encuentra el cerro aislado conocido con el nombre de Cerro Blanco, el cual se extiende para la hacienda La Griega. Al W. del cerro de Zamorano se hallan los de La Cruz y Chichimequillas, que se prolongan para Montenegro y Santa Rosa. Al S.E. de estos últimos y entre Amascala y Saldarriaga, se levantan los cerros de Bolaños, Santa Cruz y Amascala.

Las eminencias anteriores limitan y separan á varias planicies (véase el plano adjunto), algunas un poco extensas. En efecto, el valle de San Juan del Río, limitado al Este por los cerros de San Vicente y Galeras, se extiende al N.W., estrechándose en las cercanías del cerro La Pulga, y se une con la planicie de la hacienda La Griega. Esta última, al N.W., y en el lugar llamado La Angostura, se une con la planicie de Amascala, la cual continúa hacia el N.W., por Agua del Coyote y Chichimequillas, para el puerto de Montenegro que la separa de la planicie de este nombre; al N. se ex-

tiende para Atongo, y está limitada: al S., por los cerros de Amascala y Santa Cruz; al E., por el Cerro Blanco; y al N., por los de La Cruz y La Capilla, cerros que separan la planicie de Amascala de las de Alfajayuca y El Lobo, situadas al N.E. y E. de la anterior. La planicie del Lobo está separada de la de La Griega por el mencionado Cerro Blanco; y los cerros de Amascala, Santa Cruz y Bolaños limitan hacia el N. la planicie de Saldarriaga, la cual se une al E. con la de La Griega.

En la planicie de Amascala corren dos arroyos: el de Chichimequillas, que baja de la hacienda Servín por las barrancas de Matanzas, La Virgen, La Peña y El Cajón, y corre en las cercanías del cerro Santa Cruz; y el de Atongo, que pasa cerca y al W. de Cerro Blanco. Estos arroyos forman el río de La Calzada, el cual baja por la cañada de Hércules, tomando el nombre de río de Querétaro.

Las planicies anteriores, separadas por los cerros aislados que se levantan al N.E. de Querétaro, están á diversas alturas. En efecto, la planicie de El Lobo tiene una altura de 180 metros sobre Querétaro; la de Alfajayuca, 145; la de Amascala, 140 cerca de Atongo, 150 en Chichimequillas, y 110 en la hacienda de Amascala; y las de San Juan del Río, La Griega y Saldarriaga están á 95 metros sobre Querétaro. El terreno desciende, como se ve, del Norte al Sur: del Lobo, Atongo y Chichimequillas, por Amascala, para las planicies de La Griega y Saldarriaga; y de estas últimas, con mayor pendiente, por la cañada de Hércules para el valle de Querétaro. Esta cañada desemboca en la parte oriental del valle mencionado, y en donde estre-

chan á éste los cerros de Saldarriaga por el N.E., y el cerro Cimatario que se levanta al Sur de la ciudad de Querétaro.

El valle de Querétaro al S.W. de esta ciudad se prolonga con muy ligero ascenso, 10 metros solamente, hasta la villa El Pueblito y hacienda La Negreta; y de estos lugares el terreno se levanta hacia el Sur y el Este. Al Sur se encuentran los cerros de La Negreta surcados por las barrancas llamadas: La Plata, El Carrizo, El Guardián y la del Zapote que baja entre los cerros Chichihuitillo y Güerejo, y se une al Norte, cerca de La Joya, con la Barranca del Batán, por la cual corre el río de Huimilpan. Al S.E. de los cerros anteriores se encuentran los de La Cueva y La Barranca, y al E. y S.E. del Pueblito se levantan el Cimatario y los cerros de San Francisco y Santa Teresa.

Al Sur de las eminencias anteriores se halla una planicie algo extensa, á 170 metros sobre Querétaro, y limitada: al Norte, por los cerros de San Francisco y el Cimatario; al Este, por los de Miranda, Santa Teresa y Malta; al Sur, por los de La Sabanilla y Bravo; y al Poniente, por los de La Barranca y La Cueva. En esta planicie, rodeada por los cerros ya mencionados, se encuentran, entre otras, las haciendas: Vejil, La Sabanilla, Apapátaro, Carranza, Obrajuelito, Arroyo Hondo y San Francisco. Este terreno está surcado por tres barranquillas que permiten el desagüe de la referida planicie, y son: la de Huimilpan, por donde corre el río del mismo nombre, que nace en el cerro de las Neverías y pasa al N.W. de Vejil; la llamada "lo de Casas," que se une á la anterior al S.E. del

Molino; y la de Bravo que se une á la de Huimilpan más cerca del Molino y en el lugar llamado Las Adjuntas. El agua que baja por estas tres barranquillas corre en seguida por la barranca del Batán, y sale por el Batancito y Molino de Guadalupe para el Pueblito; y el río, que arriba se llama de Huimilpan, toma los nombres del Batán y El Pueblito al pasar por estos lugares, de donde continúa por Trojitas y hacienda de Balvanera para unirse con el río de Querétaro al Poniente de esta ciudad.

Como se comprende por la descripción anterior, son varias las planicies que se encuentran tanto al Norte como al Este y Sur de Querétaro, y á alturas comprendidas entre 95 y 170 metros sobre esta población. Por otra parte, es muy notable la diferencia entre la cantidad de aguas meteóricas precipitadas anualmente en la región Norte y Este de Querétaro, comparada con la que se precipita al Sur; pues según las informaciones que pude obtener, las lluvias son muy escasas en las planicies de Montenegro, Amascala, El Lobo y La Griega; y por el contrario, son relativamente abundantes en toda la región por donde atraviesa el río de Huimilpan.

Las aguas que antes bajaban por el arroyo Chichimequillas para el río de Querétaro, hoy se detienen en la presa construída poco abajo de las barrancas de Matanzas, La Virgen, La Peña y El Cajón (la presa se encuentra en el punto P. del plano adjunto), presa que tiene una capacidad de tres y medio millones de metros cúbicos, y cuyas aguas se emplean en el riego de los terrenos de la hacienda de Chichimequillas. Las aguas que descienden por el río de Huimilpan se em-

plean, primero como fuerza motriz en el Molino del Batán, y después para el riego de los terrenos del Pueblito y de la hacienda Balvanera. Por último, las aguas que bajan por la barranca El Zapote se usan para riego en El Pueblito.

El terreno, en lo general poco accidentado en los alrededores de Querétaro, es montañoso hacia el N.E. desde el Pinal de Zamorano para Tolimán, y los cerros Tenché y El Frontón, eminencias en partes cubiertas de bosques y en otras desnudas de vegetación.

Descrito ya á grandes rasgos el relieve del terreno, y las corrientes de agua que lo surcan, paso á indicar la geología de la región.

GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.

En toda la zona que motiva este estudio sólo se encuentran rocas pliocenas y pleistocenas, cubiertas en partes por tierra vegetal, y distribuídas de la siguiente manera:

Como roca eruptiva más antigua, de las que casi inauguraron las erupciones pliocénicas, se encuentra en esta región una rhyolita porfiroide, con granos gruesos de cuarzo, y que aflora en la parte Norte formando las elevadas eminencias del Pinal de Zamorano. Estas rhyolitas, de la subdivisión felsonevadita probablemente, se extienden al W. por los cerros de La Cruz y Chichimequillas para Montenegro; y se prolongan al S. del cerro La Cruz por el de La Capilla, para el Cerro Blanco. Esta roca sirve de base ó apoyo á las tobas y rocas eruptivas posteriores, escurridas sobre el campo rhyolítico plioceno que abarcaba toda la zona ahora en estudio.

Acompañando á las rhyolitas y rodeando á veces núcleos de rhyolitas macizas, se encuentran gruesas capas de tobas rhyolíticas rosadas, silicificadas á veces por la acción de aguas termales que contenían la siliza en disolución. Estas tobas se encuentran en bancos casi horizontales: en los cerros y lomas que forman la Cañada de Hércules, cerca de Querétaro; al N. de la hacienda Chichimequillas, en las cercanías de la presa del mismo nombre; forman el subsuelo de las planicies de Amascala y El Lobo; y aparecen al Sur de la hacienda San Francisco, extendiéndose para Bravo y Apapátaro.

El cerro Cimatario, al Sur de Querétaro, está formado por andesitas de hornblenda, y más al Sur, en las mesetas de San Francisco para Apapátaro y Bravo, se encuentra una corriente poco gruesa, en partes de sólo dos metros, de rhyolita axiolítica de aspecto litoide, de color gris, compacta y dura. Esta corriente rhyolítica está fraccionada por erosión, y la roca presenta una alteración superficial, sobre todo en los lugares en que la surcan los arroyos.

Por último, las labradoritas ó basaltos pobres de olivino, forman los cerros de Santa Cruz y Amascala; y se prolongan al E. por la Angostura, para los cerros de la hacienda La Griega. Esta roca pleistocena forma los cerros que se encuentran al S. de La Negreta; se extiende por La Cueva para el Sur del Molino del Batán; y se prolonga para San Francisco cubriendo á las tobas rhyolíticas que afloran más al Sur de los lugares anteriores. Las mismas labradoritas forman el subsuelo de la parte Norte de la planicie La Griega; y aparecen bajo la tierra vegetal, y sobre las tobas rhyo-

líticas, en la parte S.W. de la planicie de Amascala, y también en algunos lugares de la Cañada de Hércules.

La planicie de Amascala está limitada al Norte, Este y Oeste, por eminencias rhyolíticas; y al Sur, por las labradoritas de los cerros Amascala y Santa Cruz. El subsuelo de esta planicie está formado en su mayor parte por rhyolitas cubiertas con tobas rhyolíticas, como lo comprobó la perforación profunda que en busca de aguas artesianas se hizo en la hacienda de Amascala, cerca de sus linderos con la de Chichimequillas; y solamente en la parte Sur de la planicie, que es la más baja, se encuentra la lava labradorítica en algunas partes muy delgada, cubriendo á las tobas rhyolíticas, como se observa en algunos tajos que se han abierto para dar corriente á las aguas freáticas superficiales que hay en esta planicie.

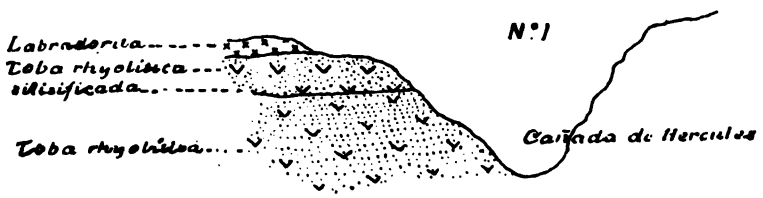
Las planicies de Alfajayuca y El Lobo están limitadas por cerros rhyolíticos; y el subsuelo, bajo la tierra vegetal, está constituído por rhyolitas y tobas rhyolíticas que fueron atravesadas por la noria del Lobo, cuya profundidad es de 58 metros.

La planicie de la Griega está limitada al Norte por eminencias labradoríticas; y abajo de la tierra vegetal se encuentra la lava labradorítica, de bastante espesor, como lo comprobaron las perforaciones profundas que se hicieron en esta planicie para buscar aguas artesianas.

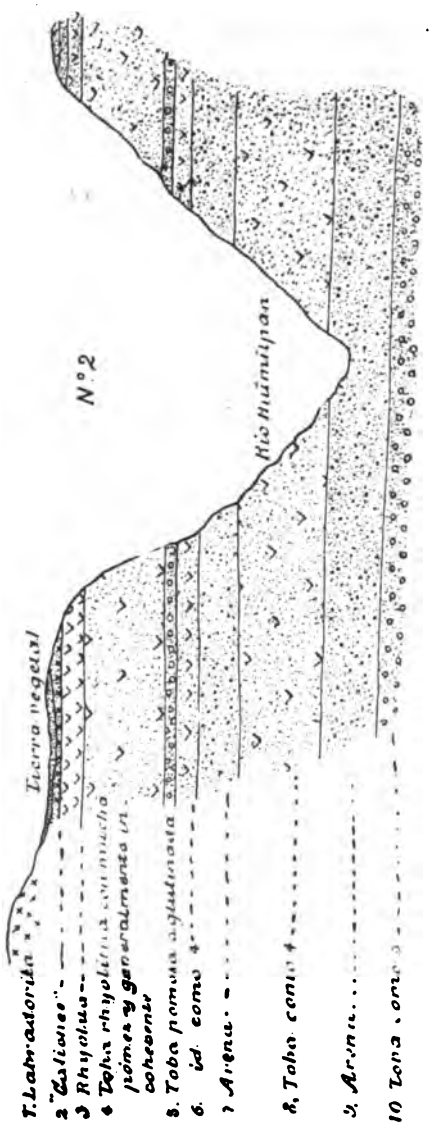
En la Cañada de Hércules los bancos de tobas rhyolíticas que se encuentran debajo de las lavas labradoríticas están surcados por venillas de siliza hidratada, la cual impregna irregularmente á las tobas y sobre todo á las de los bancos superiores, en los cuales la

toba es bastante dura, muy silicificada por la acción de aguas termales silizosas, y es de color rojizo.

Un corte en la Cañada de Hércules puede representarse por el siguiente croquis geológico:



Al Sur de los cerros labradoríticos de La Negreta y San Francisco, se encuentra, como he dicho, la planicie surcada por el río de Huimilpan, y en la barranquilla por donde corre este río se observa una sucesión de rocas bastante interesante, sobre todo desde el punto de vista hidrológico. En efecto, desde las cercanías del lugar donde se une el arroyo de Bravo con el río de Huimilpan y para el Sur, ó sea río arriba, se encuentra la superposición indicada en el siguiente croquis geológico:


N.º 2
Río Huámipan
Tierra vegetal
1. Labradorita
2. "Galiones"
3. Rhyolita
4. Toba rhyolítica con mucho
jsómes y generalmente
coherente
5. Toba pomosa glutinosa
6. id. como 4
7. Arena
8. Toba como 4
9. Arena
10 Tona

Debajo de la rhyolita axiolítica de aspecto litoide se encuentran en la barranca de Huimilpan y en el arroyo llamado "lo de Casas," tobas rhyolíticas con mucha pómez, de texturas distintas, pero generalmente incoherentes, y de color blanco ó rojizo. Intercaladas en las anteriores se encuentran capas delgadas de una toba pomosa fina, cuyos elementos están aglutinados formando bolitas poco coherentes entre sí. Intercaladas también en las tobas rhyolíticas se encuentran capas gruesas de arena comprimida, en las cuales se hallan á veces blocks muy coherentes formados por granos de pómez en su mayor parte, cimentados por calcita cristalizada, debida á la circulación de aguas termales calcáreas. La corriente de rhyolita axiolítica, fraccionada por la erosión como he dicho y extendida en las mesetas de Apapátaro, Bravo y San Francisco, está cubierta en partes por las labradoritas de este último lugar, y en otras por tobas calizas silizosas, "caliche" que cubren á veces también á la labradorita, y que son debidos á la acción de las aguas termales de que hablaré más adelante.

Una superposición parecida á la anterior, aunque las capas de arena son muy delgadas, se encuentra en la barranca del Zapote, al Oeste de la de Huimilpan, y al Sur de los cerros labradoríticos de la hacienda La Negreta.

Para comprender más fácilmente la geología de la región, he creído de utilidad hacer los dos cortes geológicos adjuntos, y el plano que acompaño á este estudio. En el corte *A B,* que parte de Querétaro hacia el N.E. pasando por la planicie de Amascala para los cerros de La Cruz, se ve que: el terreno se eleva con

fuerte pendiente de Querétaro por la Cañada de Hércules para la planicie de Saldarriaga, y en todo este trayecto se encuentran tobas rhyolíticas en gruesos bancos, y silicificadas las de los bancos superiores principalmente; en seguida, las tobas se ocultan bajo las labradoritas que forman los cerros de Santa Cruz, y que se extienden hacia la parte Sur de la planicie de Amascala; después, y bajo la tierra vegetal de esta planicie, se encuentran las mismas tobas que continúan hasta el Norte de la misma planicie; y por último, en los cerros de La Cruz, y hacia el Pinal de Zamorano, afloran las rhyolitas. En el corte *A C*, que parte de Querétaro, hacia el Sur, por el Molino del Batán, para la planicie surcada por el río Huimilpan, se ve que: después de pasar la formación cuaternaria del Valle de Querétaro, se encuentran las labradoritas de las haciendas La Negreta, La Cueva y San Francisco; y después, más al Sur y cerca del lugar en que se une el arroyo de Bravo con el río Huimilpan, comienzan las tobas con bancos de arena intercalados, y coronados por las rhyolitas axiolíticas, como lo indica el corte núm. 2. Estas rhyolitas están alteradas superficialmente: en los bordes de las barranquillas que fraccionan el escurrimiento, en las cercanías de los arroyos que la surcan, y en las diaclasas que la atraviesan; y aunque al microscopio no se percibe diferencia alguna observando en lámina delgada la parte alterada y la no alterada de esta roca (según las observaciones del Sr. Ing. Ezequiel Ordóñez, quien clasificó las rocas que he mencionado), macroscópicamente la diferencia es muy notable. En efecto, la parte no alterada es compacta, dura y de color obscuro; y en la zona alterada

la roca es porosa, poco dura y de colores claros, que varían entre el rosa, gris azulado y blanco rojizo. Esta alteración es debida á la diminución de la cantidad de siliza (esta diminución fué comprobada por la análisis química hecha por el Prof. Vigier en el Laboratorio del Instituto Geológico Nacional, pues la rhyolita no alterada tiene 76.9 por 100 de siliza, y en la parte alterada solamente 74.5 por 100), contenida en la roca, por la acción de las aguas meteóricas, y á la oxidación por la misma causa de los compuestos ferruginosos, lo cual origina la porosidad, poca dureza y colores varios de la parte alterada de la rhyolita.

Tanto las tobas rhyolíticas de la Cañada de Hércules, como la parte alterada de las rhyolitas axiolíticas en las mesetas de la hacienda San Francisco, se explotan como materiales de construcción, por ser de fácil labrado; pero la explotación de las últimas sólo puede hacerse en pequeña escala, por ser muy superficial la alteración de la rhyolita, y localizada solamente en los puntos antes mencionados.

Tectónica.—En toda la región en estudio no existen paraclasas, ó sean amplias fracturas con dislocación del terreno, pero existen sistemas conjugados de diaclasas producidas por esfuerzos de presión. Las direcciones dominantes de estas fracturas son: en la parte Norte, en las rhyolitas y tobas rhyolíticas de Chichimequillas y de la Cañada de Hércules, 60° á 70° N.W., casi verticales, cortadas por otras de rumbo, unas entre 20° y 35° N.E. echado 52° al S.E., y otras con el mismo echado y con rumbo 70° N.E., y en la parte Sur, en las labradoritas, tobas y arenas de San Francisco, Arroyo Hondo y "lo de Casas," las diaclasas

son: de 10° N.W. echados 85° al N.E., y 67° N.E. con echados de 45° á 60° al N.W. Estas fracturas exokinéticas forman zonas de diaclasas en las cercanías de los manantiales termales de la región; y sobre todo, en la Cañada de Hércules, y en el arroyo "lo de Casas" al S.E. del Molino del Batán. En este último lugar, principalmente en el socavón llamado Arroyo Hondo, las diaclasas son numerosas, y muy cercanas las unas de las otras.

En el río de Huimilpan, poco arriba del lugar en donde se le une el arroyo de Bravo, las diaclasas tienen 30° N.W. y están echadas 60° al N.E., y en el socavón del Zapote, en la barranca del mismo nombre, las diaclasas son generalmente de 35° N.W. de rumbo y casi verticales.

Estas diaclasas desempeñan gran papel, como se verá adelante, en la circulación subterránea de las aguas que brotan por los manantiales de esa localidad.

HIDROLOGÍA.

Varios son los manantiales que se encuentran en esta región y están distribuídos de la siguiente manera:

Al Norte de la hacienda de Chichimequillas, al pie de los cerros del mismo nombre, y á una altura de 1995 metros, ó sea 180 metros sobre Querétaro, se encuentran los baños de Chichimequillas en el manantial del mismo nombre. (Marcado con la letra *a* en el plano adjunto.) El agua que brota por este manantial es poca, y con temperatura de 35° C.

En la Cañada de Hércules se encuentran varios manantiales termales, entre los cuales figuran los siguien-

tes como los más interesantes: Arriba del pueblo, La Cañada, cabecera del Municipio de su nombre, y á 60 metros sobre Querétaro, se encuentra el socavón llamado de Hércules (marcado con la letra *b* en el plano adjunto), obra que se emprendió con objeto de captar las aguas subterráneas que por allí circulan. Este socavón, con un desarrollo de más de 600 metros, se dirige primero hacia el Norte, y serpenteando llega á una lumbrera de ventilación; de aquí se dirige hacia el W. siguiendo aproximadamente el rumbo 70° S.W. de las muchas diaclasas que cortan á las tobas en que está abierta esta obra. Siguiendo el socavón con este último rumbo, corta á las diaclasas 20 á 35° N.E., y en varias de éstas y al pie de la obra, brota el agua que corre por el socavón. En algunos lugares se han abierto cruceros pequeños siguiendo á estas diaclasas, y algunos de ellos han producido regular cantidad de agua. El gasto de estos manantiales es casi constante todo el año, la temperatura del agua es de 30° C., también constante, el volumen de agua que producen es muy regular (150 litros por segundo, según informes), y se emplea ésta como fuerza motriz en varias fábricas de hilados.

En la misma Cañada de Hércules y un poco abajo del socavón anterior se encuentran las albercas (designadas con la letra *c* en el plano adjunto) que surten de agua potable á la ciudad de Querétaro. Estas albercas están construídas alrededor de manantiales que producen 35 litros por segundo, derramando la alberca por la parte superior; y este gasto no sólo es constante durante todo el año, sino que lo ha sido durante muchos años como lo prueban las medidas practicadas en

distintas épocas, y cuyos resultados están grabados en uno de los departamentos anexos á las referidas albercas. La temperatura de estas aguas, también constante, es de 30° C. Hacia el Norte de estas albercas se encuentra terreno cenagoso constantemente húmedo.

Más abajo de los anteriores, y ya en el pueblo de La Cañada, á 30 metros sobre Querétaro, se encuentran los manantiales (marcados con la letra *d* en el plano adjunto) de los baños, que son de gasto constante y de 29° C. la temperatura de sus aguas. En las cercanías de estos manantiales cualquier tajo que se abre en la tierra produce agua; y tanto éstos, como los manantiales de las albercas, se hallan en el fondo de La Cañada. En los cerros que limitan á ésta, y muy cerca de los baños, se observan diaclasas rellenadas con siliza hidratada, formando las venillas de que hablé antes; y esta siliza impregna también, como dije ya, á las tobas cortadas por La Cañada.

Además de los manantiales anteriores se hallan en el fondo de La Cañada de Hércules otros varios, aunque de menor importancia.

Al Sur de Querétaro, en el arroyo llamado "lo de Casas," existen dos socavones antiguos denominados: San Francisco (marcado con la letra *e* en el plano adjunto), y Arroyo Hondo (marcado con la letra *f* en el mismo plano), obras que se han estado desazolvando á la vez que se construye un magnífico canal de 4 kilómetros de desarrollo, con objeto de llevar las aguas de estos socavones para El Batán, formando una caída de 45 metros de alto, y aprovechar así esas aguas como fuerza motriz antes de que se reunan á las del río de Huimilpan.

El socavón San Francisco está abierto en la margen derecha del arroyo "lo de Casas," á nivel del arroyo y á 90 metros sobre Querétaro. Este socavón en los primeros 70 metros tiene un rumbo de 10 y luego 15° N.W.; después sigue hacia el W. en línea curva hasta llegar á la lumbrera de ventilación, que se encuentra á 104 metros de la boca del socavón (véase el plano respectivo adjunto), y de este lugar continúa la obra 30 metros más con el rumbo 80° S.W. En la lumbrera está abierto un crucero de un metro de largo, y con rumbo 10° S.E., siguiendo la dirección de una diaclasa que cortó el socavón en ese lugar, y que produce bastante agua á la temperatura de 31° C. El agua brota por esa fractura, tanto al pié del socavón como en el piso del crucero mencionado, que se encuentra metro y medio arriba de la plantilla del caño abierto en el socavón, y por el cual corren las aguas hacia afuera. 15 metros al Este de la diaclasa anterior, fué cortada otra, con rumbo también 10° N.W., y que produce agua aunque en menor cantidad. Todo este socavón está abierto en un banco grueso de arena comprimida marcado con el número 9 en el corte número 2 adjunto, y en el piso aparece la toba pomosa fina. En los respaldos de las diaclasas, y sobre todo en la que pasa por la lumbrera, la arena está cimentada con carbonato de cal que la hace muy coherente, calcita depositada por las aguas termales que circulan por esas grietas, las que también han arrastrado arcilla que se encuentra depositada junto con el carbonato de cal. Este socavón sólo ha cortado hasta ahora las dos diaclasas ya mencionadas, que son paralelas y echadas 85° al N.E., y las dos están dando aguas termales en regular cantidad.

En la margen izquierda del arroyo "lo de Casas," á 195 metros al Este del socavón San Francisco, se encuentra el llamado de Arroyo Hondo. Este último socavón está abierto á nivel del arroyo, á 90 metros sobre Querétaro, y con rumbo variable entre 15° y 28° S.W. Su longitud es de 120 metros, y hacia el Este se han abierto cuatro cruceros. El primero, muy cerca de la boca del socavón, tiene primero 70° y luego 30° S.E. con un desarrollo de 40 metros; y á los 15 metros de la boca de este crucero hay una frente de 11 metros de longitud y con 40° S.W. de rumbo. A los 59 metros de la boca del socavón está el segundo crucero, de 13 metros de largo y con 56° S.E. de rumbo. A 32 metros al Sur de este último está el tercer crucero, de 4 metros y con 72° S.E. de rumbo; y de este crucero sigue una frente con 10° S.W. y 10 metros de longitud. Por último, á 114 metros de la boca del socavón está el cuarto crucero, de 1 metro de largo y con 10° S.E. de rumbo. La lumbrera de ventilación está entre el segundo y tercer crucero, y en todo el socavón está abierto un caño de más de 1 metro de profundidad. Todas estas obras están labradas en el banco grueso de arena núm. 9, del corte núm. 2, y en algunos lugares aparece en el piso del caño la toba pomosa. Este socavón ha cortado hasta ahora 4 diaclasas de rumbo 10° N.W., dos están cerca de la lumbrera; una entre los cruceros tercero y cuarto, y la última en donde está abierto el cuarto crucero. Todas estas diaclasas producen agua á 31° C. de temperatura, y en mayor cantidad la que se encuentra cerca del tope del socavón. Por los cruceros segundo y tercero sale también bastante agua, y en menor cantidad por el primero. El agua termal brota en

el piso de las obras y un poco arriba, pero en la frente del crucero primero, escurre también de la cabeza de la obra.

Cerca del socavón Arroyo Hondo, y hacia el E., hay otros manantiales en la margen izquierda del arroyo "lo de Casas."

El volumen de agua producido por los socavones anteriores, es casi constante en todo el año, así como la temperatura del agua, y el gasto de los dos juntos es de 100 litros por segundo (según informes).

Al Sur de la hacienda La Negreta, en la barranca del Zapote, y á la margen izquierda del río de este nombre, se encuentra el socavón del Zapote (marcado con la letra *g* en el plano adjunto), á 80 metros sobre Querétaro y á 70 arriba de La Negreta. Esta obra tiene una longitud de 126 metros aproximadamente y su dirección varía entre 74° S.W. y 82° N.W. (véase el plano respectivo adjunto), cortó cuatro diaclasas con rumbo variable entre 20 y 35° N.W., y estas fracturas producen agua de 31° C. de temperatura. Toda la obra está abierta en tobas con capitas delgadas de arena, intercaladas en las primeras, y es pequeña la cantidad de agua que produce.

En frente del socavón anterior, y en la margen derecha del mismo arroyo del Zapote, existen manantialitos muy pequeños, casi á nivel del arroyo, y en unas diaclasas cuyo rumbo es de 10° N.W.

Además de los manantiales termales ya mencionados, existen en la región otros fríos, y por los que brota muy pequeña cantidad de agua. De estos últimos se encuentran varios en los cerros rhyolíticos que se hallan al Norte de Chichimequillas, y cerca de los baños del

mismo nombre; los hay también en la falda N.E. de Cerro Blanco, en la hacienda Alfajayuca, en los cerros de Amascala, cerca de la casa de la hacienda de este nombre; y en los cerros labradoríticos, abajo de la hacienda San Francisco y cerca del Molino del Batán.

Por último, se encuentran aguas freáticas, á poca profundidad, en varios lugares de la planicie de Amascala, sobre todo en la faja de terreno que va de la casa de esta hacienda para Atongo, zona en la cual se hallan aproximadamente las norias llamadas Puerta del Jaral y Atongo, en las cuales se encuentra el agua á una profundidad de 8, 10 y 7.50 metros respectivamente, estando más alto el brocal de la noria de Atongo que el de la llamada Puerta del Jaral. Cerca de la casa de la hacienda del Lobo está la noria de San Isidro, y en ésta el agua se encuentra á 50 metros de profundidad; pero el brocal de esta noria está 60 metros arriba del brocal de la noria del Jaral. En cambio, en la hacienda de La Griega, que está á 75 metros aproximadamente más baja que el brocal de la noria de San Isidro, el agua se ha encontrado hasta la profundidad de 48 metros, próximamente, en las perforaciones que se han hecho en esa planicie para buscar aguas artesianas, y que sólo encontraron aguas freáticas á la profundidad indicada.

Los datos anteriores permiten formarse un concepto acerca de la circulación subterránea de las aguas en esta región, de la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos que existen en ella, y de la gran cantidad de agua que por éstos circula anualmente; y ahora, conocida ya la topografía y geología del terre-

no, debo indicar cuáles son las cuestiones hidrológicas cuya resolución motiva el siguiente estudio.

Con objeto de aumentar la cantidad de agua que ahora llega á la ciudad de Querétaro, se está desviando el canal que la conduce, para que en lugar de que éste desemboque de la parte alta de la alberca, salga del fondo de ésta. Motivó el referido cambio de trazo la observación hecha al vaciar la alberca anualmente para limpiarla. En efecto, durante los días que estaba vacío ese receptáculo, y que por lo mismo salía el agua por los manantiales libremente sin sobrecarga alguna, el volumen de agua era doble del que derrama en igual tiempo por la parte superior de la alberca. Para mayor seguridad se instaló una bomba en la referida alberca cuando estaba llena, y se extrajeron los 70 litros (según me informaron en la localidad) por segundo, que producen los manantiales cuando la alberca está vacía; y no obstante que se estuvo extrayendo ese volumen de agua durante mucho tiempo, no se observó cambio alguno en el gasto de los manantiales. Ahora se pregunta:

A. ¿Se modificará el régimen constante de estos manantiales, de tal suerte que en alguna época del año lleguen á secarse ó por lo menos á tener un gasto menor de los 35 litros por segundo que siempre han tenido, si se permite la salida de un volumen de agua doble del que hasta ahora se ha utilizado?

Por otra parte, varios capitalistas de Querétaro, emprendedores y progresistas (son éstos los Sres. Adolfo Isla, Alfonso Veraza, José Calvo, Juan J. de la Mota, Felipe y Joaquín Cabañas), desean aumentar la cantidad de agua que sale por los socavones de San

Francisco y Arroyo Hondo para emplearla como fuerza motriz primero, y que después la usen para regar terrenos del Pueblito y de la hacienda de Balvanera. Estos señores comenzaron por mandar desazolvar los referidos socavones y bajar más de un metro el piso de éstos en la mitad de la anchura de esas obras, para formar así el caño de escurrimiento de las aguas, con lo cual consiguieron además aumentar el volumen de estas últimas. Se abrió la lumbrera de ventilación del socavón San Francisco, y se ha construído ya la mayor parte del canal que sale del piso de los socavones para el cerro del Batán en donde se puede aprovechar una caída de 45 metros. Ahora, preguntan estos señores:

B. ¿Podrá aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo nuevas obras en los referidos socavones?

C. ¿No habrá peligro al hacer estas obras de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos, y de que se sequen éstos para siempre ó periódicamente?

D. ¿Pueden abrirse nuevos socavones, río abajo de los dos anteriores, sin perjudicar los manantiales descubiertos ya por éstos, ni los que puedan descubrirse al prolongar el socavón de San Francisco?

E. ¿Por el canal que se ha construído podrán correr todas las aguas que produzcan las nuevas obras de captación que se emprendan en esa zona?

El dueño de la hacienda La Negreta (el Sr. Desiderio Reséndiz), y los habitantes de la villa El Pueblito, cabecera del Municipio de su nombre, están interesados en el aumento del agua que ahora sale por el soca-

vón del Zapote: el primero, para emplearla como fuerza motriz, aprovechando los 70 metros de desnivel que hay entre la boca de este socavón y la referida hacienda; y los segundos, para usarla en el riego de los terrenos. Con estos objetos preguntan los mencionados señores:

F. ¿Qué obras deberán hacerse para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote?

Por último, el dueño de la hacienda Amascala, estando dispuesto á emprender obras de captación de aguas, aun cuando fueran costosas, pregunta:

G. ¿Hay aguas artesianas brotantes en la planicie de Amascala?

Para poder contestar las preguntas anteriores es preciso conocer primero: el origen de las aguas termales que brotan en los alrededores de Querétaro, y la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos por donde ellas circulan. Al efecto, paso á ocuparme de estas cuestiones que son del dominio de la geología, ciencia única que puede resolverlas.

ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES QUE BROTAN EN LOS ALREDEDORES DE QUERÉTARO Y FORMA DE LOS RECEPTÁCULOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS POR DONDE ELLAS CIRCULAN.

Las aguas que brotan por los manantiales son el resultado de la infiltración de las meteóricas, pero no siempre de las lluvias caídas en las cercanías de los manantiales;[1] y para el presente caso procuraré demostrar, en las siguientes líneas, que: la mayor parte

1 Dr. A. Paskin. Note sur l'origine des eaux minérales de Spa. Bull. Soc. Belg. de Géo. Paléo. et d'hydro. Tomo II, 1888, P. v., pág. 386.

de las aguas que brotan por los manantiales de los alrededores de Querétaro, no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en el suelo próximo, en las planicies ya descritas; que el trayecto subterráneo de estas aguas no es superficial y casi horizontal, sino que por el contrario es vertical y profundo en gran parte; que la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por donde circulan estas aguas, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó para cada grupo de manantiales, y que no están todas éstas en relación hidrostática.

No podré indicar paso á paso el camino que siguen las aguas desde su infiltración superficial hasta brotar por los manantiales antes mencionados, no podré trazar las curvas isocronocromáticas;[1] pero los datos ya referidos me permitirán demostrar que:

La zona de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que derraman por esos manantiales termales no se encuentra cerca de estos últimos; y que esos receptáculos no son superficiales sino profundos, en el sentido riguroso de esta palabra, y no en la acepción en que la toma Mr. Gosselet, cuando dice que: pueden llamarse profundos si reciben las aguas de la superficie después que hayan pasado por un filtro bastante grueso y bastante activo que las despoje de todas las impurezas que contuvieran antes de su penetración en el suelo.[2]

Las aguas que recorren un trayecto subterráneo superficial tienen por carácter, dice el Dr. A. Paskin, el tener una temperatura inferior á la media del lugar;[3]

1 Nombre propuesto por M. León Fanel.

2 M. F. Gosselet. Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France. Bul. Soc. Belg. Géo. Paléon. et d'hydro. Tomo II. 1888, págs. 18 y 19.

3 A. Paskin. L. C., pág. 393.

y se consideran como aguas termales, dice A. Daubrée, aquellas cuya temperatura es dos grados superior á la temperatura media de la localidad.[1] Ahora bien, la temperatura de las aguas que brotan por la mayor parte de los manantiales de Querétaro es de 29° hasta 35° C., y la temperatura media anual en este lugar es de 18°3 C.[2] La diferencia, como se ve, es de: 10°7 á 16°7 C.; y por lo mismo, es muy superior la temperatura de las aguas á la media del lugar, y deben considerarse por lo tanto como aguas termales.

Es bien sabido que la temperatura del subsuelo aumenta con la profundidad, como lo han probado multitud de medidas, y así se comprende fácilmente por qué adquieren las aguas un exceso termométrico en su trayecto subterráneo profundo; y puede decirse con A. Daubrée que: la termalidad de las aguas, que brotan por algunos manantiales, demuestra su procedencia de gran profundidad.[3]

Como dije antes, al hablar de los manantiales de Chichimequillas, la Alberca, y los descubiertos por los socavones de Hércules, Arroyo Hondo, San Francisco y El Zapote, la temperatura de las aguas es constante durante todo el año en cada manantial ó en cada grupo de manantiales; y esta constancia en la temperatura es una prueba del trayecto subterráneo profundo seguido por esas aguas; y también, de que estas últimas no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en las planicies cercanas. En efecto, si el trayecto subterráneo de estas aguas fuera solamente superfi-

1 A. Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Tomo I. Paris. 1877 pág. 434.
2 Boletín del Observatorio Meteorológico Central. 1894. 1895. 1896.
3 A. Daubrée. Loc. cit. Tomo I, pág. 175 y Tomo II, págs. 165-181.

cial y corto, los cambios de la temperatura exterior influirían desde luego en la temperatura del agua; y sobre todo, en tiempo de lluvias se observaría un enfriamiento de las referidas aguas, principalmente en los socavones de Arroyo Hondo y San Francisco, los cuales están abiertos en bancos de arena que surca el arroyo llamado "lo de Casas," pues por éste baja regular cantidad de agua en tiempo de lluvias; pero como no se observan estos cambios de temperatura, puede decirse que: el trayecto subterráneo de esas aguas es largo, y en su mayor parte profundo.

En apoyo de lo anterior existen también otros hechos, bastante interesantes, como son: el gran volumen de agua que sale por estos manantiales, su gasto casi constante durante todo el año, y la presencia del carbonato de cal en las aguas de los socavones San Francisco y Arroyo Hondo. En efecto, en la Cañada de Hércules, solamente por los socavones del mismo nombre, salen 150 litros, 35 por los manantiales de las albercas, más el agua de los baños y de otros manantiales pequeños; y por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo salen 100 litros, volumen de agua por segundo que no sólo es casi constante durante todo el año, sino que lo ha sido en muchos años, según las medidas hechas en los manantiales de la alberca, y á los cuales me referí ya en otro lugar. Además, como dije antes, en las diaclasas con agua cortadas por los socavones San Francisco y Arroyo Hondo, la arena está cementada por carbonato de cal cristalizado, mineral que proviene, sin duda, de las aguas termales que por allí circulan, así como los "caliches" que cubren en la superficie del terreno á las rhyolitas axiolíticas y á las

labradoritas. Ahora bien, las variaciones anuales de un mismo manantial son, por lo común, bastante considerables,[1] influyendo las lluvias de una manera notable sobre el gasto estos manantiales,[2] volumen de agua que aumenta con la abundancia de las aguas meteóricas caídas dentro del perímetro de la superficie de alimentación de los receptáculos subterráneos. Muchas veces este aumento no se verifica inmediatamente después de las precipitaciones atmosféricas, sino cuando ha transcurrido un período de tiempo más ó menos largo, según sea más ó menos largo también el trayecto subterráneo que tengan que recorrer las aguas, desde su infiltración en el terreno hasta salir de nuevo á la superficie por los manantiales. En el presente caso, la casi constancia en el gasto anual de los manantiales y el regular volumen de agua que producen, hacen suponer, con fundamento, que: la superficie de alimentación de los receptáculos subterráneos ahora en estudio es muy extensa, al grado que las variaciones en la cantidad de lluvia anual caída en las distintas partes de esta zona se compensan entre sí y no influyen en la cantidad de agua que circula en los receptáculos subterráneos, ni ocasionan por lo tanto cambios en el gasto de los manantiales, que son sus aberturas de desagüe al exterior. Esta extensa superficie de alimentación no puede decirse que sea el espacio reducido ocupado por las planicies cercanas á los manantiales, y menos cuando en la parte Norte, por el Lobo, Amascala y La Griega, las lluvias son muy escasas, como

1 A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 146.

2 Para explicación del tecnicismo empleado en este estudio, véase J. D. Villarello. Estudio de la hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, Nº 6, p. 182.

dije antes. Además, el subsuelo de los alrededores de Querétaro está formado en su mayor parte por rocas rhyolíticas, es decir, silizosas y muy poco calcáreas; por lo tanto, el carbonato de cal que contienen las aguas de esos manantiales, y que han depositado tanto en las grietas por donde circulan como en la superficie del suelo, formando el "caliche," no proviene de las rocas superficiales sino que comprueba el trayecto largo y profundo que recorren esas aguas, el cual les permite ponerse en contacto con rocas calizas.

Por último, el trayecto subterráneo de estas aguas no es solamente horizontal y superficial; pues como dije antes, el agua brota por grietas casi verticales, que han sido cortadas por los socavones mencionados.

La forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por los cuales circulan las aguas termales de que me ocupo, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó cada grupo de manantiales, y no están éstos en relación hidrostática, por los motivos que paso á indicar.

Las rocas, aun cuando no sean porosas, pueden ser permeables si están fracturadas; pues estas grietas permiten la circulación de los líquidos y los gases en el interior de las rocas. Esta "permeabilidad en grande"[1] no es continua sino localizada, pues la circulación tiene lugar solamente por esas fracturas localizadas que se denominan: paraclasas ó diaclasas, según que estén acompañadas ó no por dislocaciones notables del terreno.[2] Ahora bien, en los alrededores de Querétaro existen rocas porosas, y otras que no lo son. Entre es-

1 A. Daubrés. L. c. Tomo I, pág 16.
2 A. Daubrée. L. c. Tomo I, pág. 143.

tas últimas se encuentran las rocas eruptivas ya mencionadas; y entre las primeras figuran las tobas que ocupan gran extensión, y los bancos de arena que afloran en el arroyo "lo de Casas," en el río Huimilpan, y que han sido reconocidos por los socavones de Arroyo Hondo y San Francisco; pero estas rocas porosas no son muy permeables, pues es pequeña la velocidad de circulación del agua en el interior de ellas, debido esto á la capilaridad de los huecos ó espacios vacíos contenidos tanto en las tobas rhyolíticas de la región como en los bancos de arena comprimida por el peso de las rocas que soportan, presión que los hizo coherentes, al grado que los socavones abiertos en ellos no requieren ademación; pero que, al estrechar los espacios vacíos comprendidos entre los granos desiguales de arena, disminuyó la permeabilidad de esta última. En cambio, en toda la región, y localizadas principalmente en las cercanías de los manantiales, se encuentran zonas de diaclasas, y por estas fracturas sale el agua termal tanto en los socavones de Hércules, como en los cercanos al Batán y á La Negreta, razón por la cual puede decirse que: los receptáculos acuíferos subterráneos de esta zona son de forma en diaclasas, por lo menos en su región activa cercana á los manantiales.

Las fracturas de las rocas, como es bien sabido, no son de igual anchura en todo su trayecto tanto á rumbo como á la profundidad, y esta diferencia de "potencia" de las litoclasas ocasiona cambios en la velocidad de los líquidos que por ellas circulan, velocidad que es mayor en las partes supercapilares que en las capi-

lares, y casi nula en las subcapilares[1] que son las que oponen mayor resistencia al movimiento de los líquidos. Por este motivo, las aguas en su trayecto subterráneo tienden á seguir las partes más amplias de las fracturas, que son las de menor resistencia; y por lo tanto, ese trayecto dentro de las diaclasas es muy irregular, ramaleado; la velocidad de circulación de las aguas es variable según la anchura de estos ramales; y el movimiento de ellas está sujeto á las leyes ordinarias de la hidrostática en los ramales supercapilares, y á las leyes de la capilaridad en los que sean capilares. Todo esto explica por qué se encuentran manantiales separados en una misma diaclasa[2] con gastos diferentes y sin estar en relación hidrostática. Por otra parte, no todas las diaclasas llegan á la misma profundidad sino que son más frecuentes cerca de la superficie;[3] y en tanto que unas alcanzan mucha profundidad, otras van desapareciendo al alejarse de la superficie del terreno.[4] Según esto, se comprende fácilmente por qué se observan á veces diferencias en la temperatura de las aguas que salen de diaclasas distintas, aunque los manantiales se encuentren á la misma altura, pues las aguas provienen de distintas profundidades. Todo lo anterior explica los hechos observados en los manantiales de los alrededores de Querétaro y que paso á exponer, para demostrar que se encuentran en diaclasas distintas y no están en relación hidrostática.

1 Véase Alfred Daniell. Text-Book of Physic. 3ª edición, 1894, págs. 277-316.
2 A. Daubrée L. c. Tomo I, pág. 129.
3 Emm. de Margerie y Albert Heim. Les dislocations de l'écorce terrestre. Zurich. 1888, pág. 44.
4 Van Hise. Some Principles Controling the Deposition of Ores. Trans. Am Ins. Min. Eng. Tomo XXX, 1901, págs. 34-35.

El manantial de Chichimequillas se encuentra, como he dicho, á 180 metros sobre Querétaro, y la temperatura de sus aguas es de 35° C.; los manantiales de los socavones San Francisco, Arroyo Hondo y La Negreta, están á 90 metros sobre Querétaro los dos primeros, y á 80 metros el último, y la temperatura de sus aguas es 31° C.; y por último, los manantiales del socavón de Hércules están á 60 metros arriba de Querétaro, y las aguas tienen 30° C. Si estos manantiales fueran desagües de un mismo receptáculo acuífero subterráneo, y por lo mismo todas esas aguas provinieran de la misma profundidad, la temperatura de éstas sería mayor en los lugares de desagüe más bajo y menor en los más altos, es decir, sería mayor en la Cañada de Hércules y en San Francisco y La Negreta, que en Chichimequillas; pero sucede todo lo contrario, lo cual prueba que esos receptáculos acuíferos se encuentran en diaclasas distintas, y que las aguas provienen de diferentes profundidades.

Las albercas de la Cañada de Hércules están separadas solamente por un muro de mampostería, y vaciando completamente una de ellas no baja por esto el nivel del agua en la contigua. Esto demuestra claramente que las diaclasas en que se encuentran aquellos manantiales son distintas, y no están en relación hidrostática. Lo mismo puede decirse de las diaclasas cortadas por los socavones Arroyo Hondo y San Francisco, pues unas sólo producen agua á nivel del piso de estas obras, en otras brota el agua á mayor altura; y en una de ellas, que es la que pasa por la lumbrera de ventilación del socavón San Francisco, y que normalmente da el agua á la altura del piso de esta obra, cuando represan

el agua en esta labor comienza á brotar á mayor altura, en la tabla Norte de la referida lumbrera, cosa que no sucede en las otras diaclasas cortadas por los socavones mencionados.

El gasto de los manantiales de las albercas, y de los baños de la Cañada de Hércules, es menor que el de los socavones de este último nombre, y del de los llamados San Francisco y Arroyo Hondo; y sin embargo, los primeros están más bajos que todos los otros, lo cual prueba que son receptáculos distintos, pues si estuvieran unidos sucedería lo contrario de lo expuesto anteriormente.

Por último, las aguas de estos manantiales termales no contienen ácido carbónico en exceso ni tienen ácido sulfhídrico, ni las acompaña en su salida ningún gas; por lo tanto no puede decirse que su ascenso sea debido á la tensión de ningún vapor. Además, por su composición química puede decirse que: en su trayecto subterráneo no pasan estas aguas por regiones mineralizadas.

Aunque la forma aparente de estos receptáculos acuíferos subterráneos, en su región activa, es en diaclasas, el agua no circula en toda la extensión de estas últimas; sino que, como dije antes, sigue las partes más amplias, y su trayecto irregular forma ramales separados en los cuales la velocidad de circulación y la altura de ascensión de las aguas varían, entre otros motivos, con la anchura de los referidos ramales. Estos últimos, al ser cortados por la superficie del terreno, terminan en manantiales separados, cuando el agua puede ascender hasta estos afloramientos; pues de lo contrario, las aguas de esos ramales sólo saldrán

á la superficie al ser cortados por socavones abiertos en la diaclasa que los contiene, y siempre que el nivel de estas obras sea más bajo que el alcanzado por el agua en los referidos ramales. Cuando no existen estos desagües artificiales, el agua puede extenderse en las rocas porosas adyacentes á su trayecto, formando lentes acuíferas con aguas freáticas superficiales ó profundas, y entre las cuales pueden comprenderse: las ciénegas que se encuentran en la planicie de Amascala, y en la Cañada de Hércules; así como los receptáculos acuíferos con aguas freáticas encontrados á la profundidad por las perforaciones hechas en la planicie de La Griega; aguas estas últimas que sólo pueden llegar á la superficie extrayéndolas con bomba. Las rocas porosas que contienen estas lentes acuíferas, en los lugares mencionados antes, son las tobas rhyolíticas que forman el subsuelo de la planicie de Amascala, y que se encuentran debajo de las labradoritas de La Griega á regular profundidad.

Estudiado ya el origen de las aguas termales que brotan en los alrededores de Querétaro, y la forma de los receptáculos acuíferos de la región, paso á ocuparme de las cuestiones hidrológicas ya indicadas.

CUESTIONES HIDROLÓGICAS SOMETIDAS Á ESTUDIO.

A. *¿Se modificará el régimen constante de los manantiales de la alberca, de tal suerte que en alguna época del año lleguen á secarse ó por lo menos á tener un gasto menor de los 35 litros por segundo que siempre han tenido, si se permite la salida de un volumen de agua doble del que ahora se ha utilizado?*

Probablemente no, por las siguientes razones:

La constancia del gasto de un manantial indica que: el receptáculo acuífero subterráneo es bastante extenso, y sobre todo en la superficie y región de alimentación; de tal suerte, que aun habiendo variaciones en la cantidad de aguas meteóricas caídas en las diversas partes de esa superficie, las variaciones se compensan, y permanece siempre llena la región activa del receptáculo. El desagüe de esta región será más rápido, á medida que aumente el gasto de los orificios de salida de las aguas, ó sea de los manantiales; pero si la región de alimentación del receptáculo es bastante extensa y no es excesivo el aumento de gasto de los manantiales, la región activa permanecerá siempre llena y será constante siempre el régimen de estos últimos. En el presente caso, la región de alimentación es bastante extensa y lejana de los manantiales, por las razones ya indicadas; y por otra parte, el aumento de gasto que se obtiene dejando salir el agua por el fondo de la alberca no es excesivo, porque no obstante haber extraído toda esta agua durante varios meses, no se notó posteriormente ningún cambio en el régimen de los referidos manantiales; luego es fundado suponer que: no se modificará el régimen constante de estos últimos al dejar correr el agua á nivel del suelo aun cuando su gasto aumente. En apoyo de esta afirmación se puede indicar también el siguiente hecho: todos los manantiales termales de esa región, por los que el agua sale libremente á nivel del suelo, son de régimen constante, y como sus receptáculos acuíferos subterráneos son semejantes, como indiqué ya, es más fundado suponer que: los manantiales de la alberca

serán de régimen constante como todos al salir el agua á nivel del suelo; y no, el hacer de éstos una singular excepción que no cuenta en su apoyo con hecho alguno. Si en todo tiempo, por los manantiales de la alberca hubiera salido el agua libremente, á nivel del suelo, habrían producido siempre estos manantiales los 70 litros; pero su gasto se disminuyó al construir las albercas, obligando así al agua á subir á un nivel superior, cosa que ha sucedido casi siempre, pues como dice Daubrée: es un hecho generalmente observado en los manantiales, que: su gasto aumenta ó disminuye según que baja ó se eleva el orificio de escurrimiento.[1]

Antes de pasar á otra cuestión, y puesto que se trata de aguas destinadas á usos domésticos de la población de Querétaro, creo conveniente hacer las siguientes observaciones:

Antes se creía que toda agua por solo el hecho de provenir directamente de un manantial es excelente, como si los manantiales fueran, dice Stainier[2] aparatos misteriosos que la purificaran, cuando no son sino los orificios de desagüe de los receptáculos subterráneos: y por lo mismo, sólo que sean excelentes las aguas de estos receptáculos, lo serán también las de los manantiales; pues de lo contrario, como sucede muchas veces, las aguas de estos manantiales serán detestables.

Más tarde se creyó suficiente, para determinar la salubridad de una agua de manantial, hacer la análi-

1 A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 147.

2 Xavier Stainier. L'Hidrologie envisagée au point de vue de l'agriculture. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléon. d'Hydro. Tomo VII, 1893. Pro. Ver., p. 150.

sis química y microbiológica; pero ¿de qué sirve, dice Legrand,[1] que una agua sea excelente desde el punto de vista químico y que no se encuentre en ella ningún microbio patógeno, si proviene de terrenos cuya composición está sujeta á inevitables variaciones, si por buena que sea hoy, puede ser mala mañana?

Los poderes públicos de Francia, después de un examen detenido de multitud de casos en los que, según Rutot,[2] en vez de surtir á las poblaciones con agua potable se les envenena oficialmente, se decidieron á expedir una circular[3] en la cual se dice que: una agua no pudiendo ser utilizada para la alimentación sino cuando es salubre, y como resulta de los trabajos científicos más recientes que: para apreciar esta salubridad la análisis química no basta, deberá hacerse la análisis microbiológica; y además, utilizar los datos proporcionados por la geología acerca de la naturaleza de los terrenos atravesados por esas aguas; y agrega que: el examen geológico debe preceder á la análisis, porque ésta es inútil si aquél es desfavorable; puesto que no se puede utilizar una agua por pura que resulte á la análisis, si ella está sujeta á causas de contaminación.

Abundando en las últimas ideas antes expresadas, me parece oportuno decir que: en los receptáculos acuíferos subterráneos en forma de diaclasas, el agua

1 M. Jules Legrand. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléo. d'Hydro. Tomo XV, 1901. Pro. Ver., pág. 76.

2 A. Rutot. A propos des nouvelles instructions à suivre pour l'étude des projets d'alimentation d'eau potable des communes de France. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléo. d'Hydro. Tomo XV, 1901, pág. 81.

3 Circulaire de la Direction de l'assistance et de l'Hygiène Publiques. Paris le 10 Décembre 1900. Instruction des projets pour l'alimentation en eau des communes.

no sufre ninguna filtración al pasar por estas grietas, como sucede cuando pasa por gruesas capas de arena;[1] y por lo tanto, hay que evitar la contaminación del agua de estos receptáculos subterráneos; pues aun cuando sean profundos, al llegar á la superficie del terreno pueden volverse superficiales, en la acepción en que emplea Gosselet[2] estas palabras, es decir, que aun cuando las aguas estén desprovistas de toda impureza primero, pueden contaminarse en las cercanías de los manantiales al llegar á la superficie del suelo.

Una de las cosas que está íntimamente ligada con la calidad de las aguas que circulan por las grietas de las rocas, como sucede en los receptáculos acuíferos subterráneos en forma de diaclasas, es la ubicación de los cementerios. En efecto, como dice Stainier,[3] se cree que basta alejar los cementerios de las ciudades, persuadidos de que el peligro reside en las emanaciones producidas por la descomposición de los cadáveres; y aunque es cierto que el contagio puede transmitirse por el aire, el principal peligro no está en éste, sino en el agua; pues las lluvias pueden arrastrar á los gérmenes mórbidos, por las grietas del terreno, y llevarlos á largas distancias, hasta los receptáculos acuíferos subterráneos, contaminando las aguas de estos últimos, y por lo tanto las que salen por los manantiales que son sus orificios de desagüe.

En vista de todo lo anterior, es conveniente, y muchas veces necesario, establecer un perímetro de protección alrededor de los manantiales; y no sólo pa-

1 Xavier Stainier. L. c., pág. 149.
2 J. Gosselet. L. c., pág. 24.
3 Xavier Stainier. L. c., pág. 150.

ra evitar la contaminación de las aguas, sino también para asegurar el gasto de los referidos manantiales. La extensión de este perímetro tendrá que variar según las circunstancias y principalmente con la forma del receptáculo acuífero subterráneo, y con el origen de sus aguas; razón por la cual, y como toda cuestión hidrológica, cada caso que se presente debe considerarse en toda la fuerza del término, según Rutot,[1] como un problema local que demanda estudiarse á fondo, y que debe recibir la única solución clara, precisa y práctica que requiera.

En el caso actual, el perímetro de protección puede ser relativamente pequeño, por ser profundo el receptáculo acuífero subterráneo, bastante largo el trayecto de las aguas, lejana la zona de alimentación, y las diaclasas distintas para cada grupo de manantiales. Por lo tanto, me parece suficiente para este objeto la zona comprendida entre los baños y los socavones de Hércules, prolongándola con esta anchura hasta los cerros Santa Cruz por el N.E. y hacia el S.W. hasta el cerro Cimatario. Dentro de este perímetro de protección deberá prohibirse toda clase de investigaciones ó explotaciones superficiales ó subterráneas de manantiales, con excepción de los que indicaré en seguida; y hacer sondeos, pozos y en general excavaciones cuya profundidad exceda de dos metros.

Con objeto de aumentar la cantidad de agua que puede llegar á la ciudad de Querétaro, por el nuevo canal puede hacerse lo siguiente: abrir un tajo, partiendo de la alberca, con 20° N.W., y cuyo piso esté

1 A. Rutot. L. c., pág. 83.

á nivel del fondo de la misma alberca y de la plantilla del nuevo canal en ese lugar; este tajo hará el drenaje de la cieneguita cercana. Continuar el tajo para abrir, en su prolongación después, un socavón 20° N.W. hasta entrar debajo del cerro que allí limita la cañada, y luego, con 70° N.E. y 70° S.W., abrir frentes siguiendo alguna de las diaclasas que tienen este rumbo aproximadamente. Estas frentes cortarán diaclasas casi normales, algunas con agua brotante á este nivel, y siguiendo estas últimas, se abrirán frentes hacia el N. y S. para encontrar las partes más anchas de esas grietas, que son los trayectos principales del agua en su circulación subterránea, ramales que producirán mayor cantidad de agua que las partes angostas de la misma diaclasa. Al ir ejecutando las obras anteriores, y en vista de las diaclasas que se vayan cortando, podrán indicarse con oportunidad cuales de las frentes anteriores deben continuarse por presentar buena expectativa.

Las aguas de estos manantiales, aunque algo silizosas, serán de composición constante, pues los terrenos por los cuales circulan no están sujetos á variaciones, ni pasan las aguas por regiones mineralizadas. Por lo tanto, basta evitar que las aguas se contaminen al salir á la superficie del suelo, estableciendo para esto el perímetro de protección.

B. *¿Podrá aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo nuevas obras en los referidos socavones?*

Creo que sí, por los siguientes motivos:

Los receptáculos acuíferos subterráneos de esta región, son en forma de diaclasas, distintas para cada grupo de manantiales. Por otra parte, casi todas las diaclasas 10° N.W., que han sido cortadas por los socavones San Francisco y Arroyo Hondo, son acuíferas. Por último, en este lugar existen muchas de esas grietas 10° N.W., formando zona de diaclasas. Según esto, es fundado suponer que: al prolongar convenientemente los referidos socavones, se cortaran las diaclasas paralelas, la mayor parte acuíferas también, y cuyas aguas aumentarán el gasto actual de esas obras. Además, como casi nada se han avanzado las frentes sobre las diaclasas acuíferas cortadas ya por estos socavones, es muy probable que al avanzar éstas, se corten otros ramales acuíferos dentro de la misma diaclasa, y al facilitar así el desagüe de esta última, aumentará el volumen de agua que sale de cada una de ellas en la actualidad.

No basta dice Rutot,[1] que el geólogo indique la presencia del agua en el subsuelo, por exactas y científicas que sean sus informaciones, sino que necesita decir también la manera de tomar posesión de ella, aunque sin entrar en detalles técnicos. Por este motivo me voy á permitir indicar las siguientes obras que tienen por objeto procurar el aumento de la cantidad de agua que ahora sale por los socavones mencionados.

En el socavón San Francisco conviene continuar su

1 A. Rutot. A propos des nouvelles instruction a suivre pour l'etude des projets d'alimentation d'eau potable des communes de France. Bull. Soc. Belg Geo. Paleo. d'Hydro. Tomo XV. 1901, págs. 85-86.

frente con el rumbo 80° S.W. que lleva esta obra en su último tramo. Al prolongar este socavón se cortarán diaclasas 10° N.W., y en éstas, aun cuando en su corte den poca agua, conviene abrir frentes siguiéndolas, para alcanzar las partes más amplias de las fracturas que serán las que den mayor cantidad de agua. Con este último fin conviene también abrir frentes en las dos diaclasas ya cortadas por esta obra, y principalmente en la que pasa por la lumbrera de ventilación, y prolongar estas frentes tanto hacia el Norte como al Sur, siguiendo siempre la dirección de las mencionadas diaclasas.

En el socavón Arroyo Hondo, conviene prolongar su frente para cortar nuevas diaclasas; y aun cuando la dirección del socavón no es normal al rumbo de estas grietas, es bueno continuarlo así, hasta llegar más adentro del cerro en que está abierto para seguirlo después hacia el S.E. Además, deben abrirse frentes en las diaclasas acuíferas que se encuentren, y desde luego en la que pasa por el crucero Sur número 4, ó sea cerca del actual tope del socavón, y prolongar estas obras, tanto al Norte como al Sur.

El piso de todas estas obras debe estar más alto que la plantilla del canal que se está construyendo para conducir estas aguas; y así podrá abrirse en el piso de las obras el caño para dar salida á las aguas, el fondo del cual estará también un poco más alto que la plantilla del canal mencionado.

Las obras posteriores se prolongarán teniendo siempre en cuenta la topografía del terreno, para evitar invasiones de las aguas corrientes superficiales.

C. *¿No habrá peligro al hacer estas obras de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos, y de que se sequen éstos para siempre ó periódicamente?*

No hay peligro alguno.

Dos especies de obras he propuesto anteriormente: unas normales á la dirección general de las diaclasas acuíferas; y las otras siguiendo á estas mismas grietas. Las primeras tienen por objeto cortar nuevas diaclasas paralelas á las que cruzan los socavones; y como estas grietas son distintas para cada grupo de manantiales, por las razones ya indicadas, las aguas que puedan brotar hasta el nivel de estas obras al cortar nuevas diaclasas no influirán en el gasto de las ya descubiertas, puesto que provienen de receptáculos subterráneos distintos. Las segundas obras propuestas tienen por objeto encontrar nuevos ramales acuíferos existentes en las mismas diaclasas; y como estos ramales son trayectos distintos que siguen las aguas en su circulación por esas grietas, á medida que se corte mayor número de estos canales, el desagüe de la diaclasa será más rápido y producirá más agua; sin que este aumento de gasto modifique el régimen constante que hoy tienen los manantiales de estos socavones, por los motivos indicados ya al tratar la cuestión *A* ó sea que: la región de alimentación de esos receptáculos es bastante extensa, y lejana del lugar en que se encuentran estos manantiales.

Existe aquí la creencia de que ningún manantial debe tocarse porque se seca, al romper la capa impermeable que impide al agua su descenso vertical á mayor profundidad. Esto, que á veces es cierto, cuando los receptáculos acuíferos subterráneos están contenidos en

rocas de permeabilidad continua, superpuestas á rocas impermeables, y en los cuales la circulación de las aguas se verifica por los poros de la roca permeable, no debe generalizarse para todos los manantiales; porque ni todos los receptáculos acuíferos subterráneos son de la misma forma aparente en su región activa, ni están contenidos en rocas de la misma clase de permeabilidad, ni la circulación de las aguas se verifica de la misma manera en todos ellos; y en muchas localidades se encuentran estos receptáculos unos arriba de otros, y sucede á veces que: al romper la capa impermeable que sirve de fondo á uno de ellos, brota el agua de otro receptáculo más bajo, aguas detenidas en su movimiento ascendente por la referida capa impermeable. Según esto, cada caso es un problema local, como dije antes, y que debe estudiarse á fondo, alejándose de las generalizaciones que en asuntos de hidrología interna no conducen á buenos resultados. En el presente caso, los receptáculos están contenidos en rocas de "permeabilidad en grande," permeabilidad localizada debida al agrietamiento de la roca, y que desaparece á la profundidad cuando concluyen ó se estrechan mucho las referidas grietas. Así, la misma roca que es permeable en la superficie, se vuelve impermeable á un nivel inferior y constituye el fondo del receptáculo acuífero, fondo que en el presente caso se encuentra á mucha profundidad por las razones ya indicadas. Además, las obras se van á ejecutar en la parte del receptáculo en la cual la circulación del agua es ascendente, y por lo mismo, saldrá ésta por el socavón en vez de seguir ascendiendo, por ser el primer trayecto el que presenta menor resistencia al movimien-

to. Como en los diferentes ramales acuíferos contenidos en una misma diaclasa la fuerza ascensional del agua es diferente, en los niveles superiores el agua no brotará por todos ellos; y por lo mismo, á medida que el piso del socavón que se haga para captar estas aguas, sea más bajo, la cantidad de agua captada podrá ser mayor, pero saldrá á menor altura; y como en el caso presente ya está fijado el límite inferior para el nivel del piso del socavón, por la plantilla del caño construído para conducir las aguas al Batán, no se puede bajar más el piso de las obras, aun cuando esto produciría mayor cantidad de agua.

D. *¿Pueden abrirse nuevos socavones río abajo de los dos anteriores, sin perjudicar los manantiales descubiertos ya por éstos, ni los que puedan descubrirse al prolongar el socavón San Francisco?*

En términos generales: no deben abrirse esos socavones.

Como acabo de decir, al ser cortada una diaclasa acuífera por un socavón, el agua tiende á salir por la obra artificial; y así, al abrir socavones más bajos que los ya existentes para cortar las diaclasas cruzadas por éstos, las aguas tenderían á salir por las obras más bajas, se impediría el ascenso de aquellas á los socavones más altos ya existentes, y el gasto de estos últimos podría llegar á ser nulo. Según esto, no deben abrirse esos socavones más bajos, sino hasta que el socavón San Francisco haya llegado á su completo desarrollo por el W.; y siempre que esas nuevas obras no tiendan á cortar á las mismas diaclasas que produzcan

agua en los socavones superiores, sino únicamente á las que se encuentren más al W. que el tope del socavón San Francisco ya prolongado.

E. *¿Por el canal que se ha construído podrán correr todas las aguas que produzcan las nuevas obras de captación que se emprendan en esa zona?*

Sí correrán, porque el piso de todas las obras propuestas estará más alto que la plantilla de este caño al salir de los socavones; y además, esas obras explorarán todas las diaclasas acuíferas de la zona: las del socavón San Francisco por el Poniente, y las de Arroyo Hondo por el Oriente de la referida zona. Por último, estas obras harán el drenaje del banco de arena[1] en que tienen que abrirse, y darán salida á las aguas superficiales que provengan de la infiltración de las lluvias caídas en las cercanías, y de las aguas que bajan por los arroyos de esa región, como lo está haciendo ya el crucero primero del socavón Arroyo Hondo.

F. *¿Qué obras deberán hacerse para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote?*

Las siguientes, aunque no creo que ese aumento sea notablemente considerable para poderlo utilizar como fuerza motriz.

En esta zona, las diaclasas no son muy frecuentes;

1 Véase E. van den Broeck. Quelques considérations sur la perméabilité du sol sur l'infiltration pluviale et sur la condensation souterraine des vapeurs d'eau à propos des recherches et exposés de MM. Worré et Duclaux. Bull. Soc. Belg. Géo. Paléo. d'Hydro. Tome X, 1896. Proc. Ver., pág. 103.

la cantidad de agua que producen á nivel de la barranca es pequeña, y por lo tanto no es de esperarse un aumento muy considerable al cortar otras grietas con las obras siguientes:

Prolongar el socavón llamado El Zapote, abriendo lumbrera de ventilación, y en las diaclasas acuíferas que se corten abrir frentes hacia el N.E. y el S.W. siempre siguiéndolas á rumbo. Abrir frentes hacia el N.E. y S.W., siguiendo la diaclasa acuífera ya cortada por esa obra, y que se encuentra á 33 metros aproximadamente del tope actual del referido socavón. Enfrente de este último, en la margen derecha del arroyo El Zapote, y en donde se observan pequeñas filtraciones, puede abrirse un socavón 80° N.E., y romper frentes en las diaclasas acuíferas que se corten, las cuales, repito: ni serán muy abundantes, ni producirán mucha agua, como no la producen las ya cortadas.

G. *¿Hay aguas artesianas brotantes en la planicie de Amascala?*

Brotantes por perforaciones verticales, probablemente no se encontrarán.

Cerca de Chichimequillas, y á mayor altura que Amascala, existe, como he dicho, una diaclasa acuífera cuyas aguas brotan hasta la superficie del suelo, aunque en pequeña cantidad; pero como las diaclasas en esta región son distintas para cada grupo de manantiales, y no están en relación hidrostática, por este hecho no puede decirse que: en todas las diaclasas acuíferas de la planicie de Amascala, el agua puede ascen-

der hasta la superficie del suelo. En cambio, existen varios hechos que indican dos cosas, y son: que sólo en una faja de terreno que se extiende de las cercanías de las casas de Amascala para Atongo, con un rumbo aproximadamente igual al de las fracturas en esta región, 20° á 35° N.E., existen diaclasas acuíferas cuyas aguas llegan hasta muy cerca de la superficie del suelo; y que esta altura máxima de ascenso de las aguas es aproximadamente el nivel de la casa de la hacienda de Amascala. En efecto, en las cercanías de esta casa, tanto al Sur como al Norte, existen ciénegas, una de las cuales, la más grande, produce alguna cantidad de agua por los tajos que se le han hecho. En esta misma faja, y hacia el Norte, para donde sube el terreno, se encuentran las norias de Atongo y Puerta del Jaral, así como la perforación que mencioné en otro lugar, y en todos estos puntos el agua se encuentra á poca profundidad, ocho á diez metros; y fuera de esta faja, las norias son muy profundas para alcanzar el agua. Como se ve, en esta faja estrecha es en la única en que se encuentra agua á poca profundidad, pero no es brotante; además, las diaclasas de esta región están bastante paradas, son muy irregulares los trayectos que sigue el agua dentro de estas grietas; y por último, no son éstas muy abundantes á la profundidad.[1] Creo que los anteriores fundamentos, y sabiendo que el subsuelo de la planicie de Amascala está formado por rhyolitas y tobas rhyolíticas, son suficientes para decir que: las perforaciones verticales en esta

1 F. C. Chamberlin. Les Puits artésiens. Bull. Soc. Belg. Géo. Paléo. d'Hydrol. Tome IX, 1895, págs. 7-8.

planicie no encontrarán probablemente aguas brotantes hasta la superficie del suelo.

Las aguas, que por distintos ramales ascienden en las diaclasas de la faja mencionada, se extienden, al llegar al máximum de su ascenso, en las tobas rhyolíticas porosas adyacentes á su trayecto, y se forman lentes acuíferas con aguas freáticas casi superficiales, y en las cuales el agua se eleva un poco más por efecto de la capilaridad. El agua de estas lentes aisladas, tanto en las ciénegas referidas como en las cercanías de las norias del Jaral y Atongo, puede hacerse correr en la superficie del terreno: abriendo tajos 20° N.E., y en la prolongación de éstos, socavones también 20° N.E., con cruceros al E. y W. Estas obras harán el drenaje de las lentes mencionadas y podrán descubrir tal vez los ramales acuíferos de las diaclasas, facilitando así su desagüe. Para localizar estas obras, es conveniente deslindar primero las referidas lentes, haciendo varios sondeos de poca profundidad dentro de la faja mencionada, y tener el plano exacto y acotado de este último; porque, si bien es cierto que el relieve del suelo no tiene ninguna influencia sobre la propagación de las aguas subterráneas,[1] en el presente caso esos datos son indispensables para hacer un buen trazo, que: á la vez que llene por completo su objeto, las obras resulten lo más económicas que sea posible. La cantidad de agua que salga por estas obras no creo que sea notablemente abundante: tanto porque es estrecha la zona de diaclasas, como por estar relativamente alta la referida planicie de Amascala; y pocos

1 Félix Marbontin. Sur la propagation de eaux souterraines. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléo. d'Hydrol. Tome XV, 1901. Mém., pág. 217.

serán, por lo mismo, los ramales acuíferos cuyas aguas puedan subir hasta esta planicie.

CONCLUSIONES.

Como resumen de este estudio pueden deducirse las siguientes conclusiones:

Tanto al Norte, como al Este y Sur de Querétaro, existen varias planicies á alturas comprendidas entre 95 y 170 metros sobre esa población, y separadas por cerros aislados. El terreno es, en lo general, poco accidentado en los alrededores de Querétaro, y montañoso hacia el N.E., desde el Pinal de Zamorano para Tolimán, y los cerros Tenché y el Frontón.

Las lluvias son muy escasas al Norte, en las planicies de Montenegro, Amascala, El Lobo y La Griega; y son relativamente abundantes al Sur de Querétaro, en toda la región que atraviesa el río Huimilpan.

Toda la región estudiada está formada por rocas pliocenas y pleistocenas: rhyolitas cubiertas por tobas rhyolíticas, y entre estas últimas intercalados, á veces, bancos de arena; encima se encuentra una corriente de rhyolita axiolítica, en la parte Sur de la región estudiada; y sobre las tobas rhyolíticas se hallan lavas labradoríticas, cubiertas en partes por "caliches."

Existen en la región sistemas conjugados de diaclasas, producidas por esfuerzos de presión, y que desempeñan gran papel en la circulación subterránea de las aguas que brotan por los manantiales de esa localidad.

Varios manantiales se encuentran en la región estudiada: tanto en Chichimequillas como en la cañada

de Hércules, en el arroyo llamado "lo de Casas," y en la barranca del Zapote. Estos manantiales están á diversas alturas, sus aguas son termales, y tanto su gasto como la temperatura del agua, son constantes en todo el año. Hay también aguas freáticas, casi superficiales, en la planicie de Amascala; y profundas, en la del Lobo y La Griega.

La mayor parte de las aguas que brotan por los manantiales de los alrededores de Querétaro, no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en el suelo próximo; el trayecto subterráneo de estas aguas no es superficial y casi horizontal, sino que por el contrario es vertical y profundo en gran parte; y la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por donde circulan estas aguas, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó para cada grupo de manantiales, y no están todos éstos en relación hidrostática. Existen también, en las planicies antes mencionadas, lentes acuíferas con aguas freáticas.

Pueden desagüarse por el fondo las albercas de la Cañada de Hércules, sin que se modifique el régimen constante de esos manantiales. Las aguas serán de composición constante; pero es conveniente establecer el perímetro de protección indicado, para evitar que se contaminen éstas al llegar á la superficie del suelo, y para asegurar el gasto de los referidos manantiales.

Puede aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo las obras indicadas, sin que haya peligro, al hacer estas obras, de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos por los

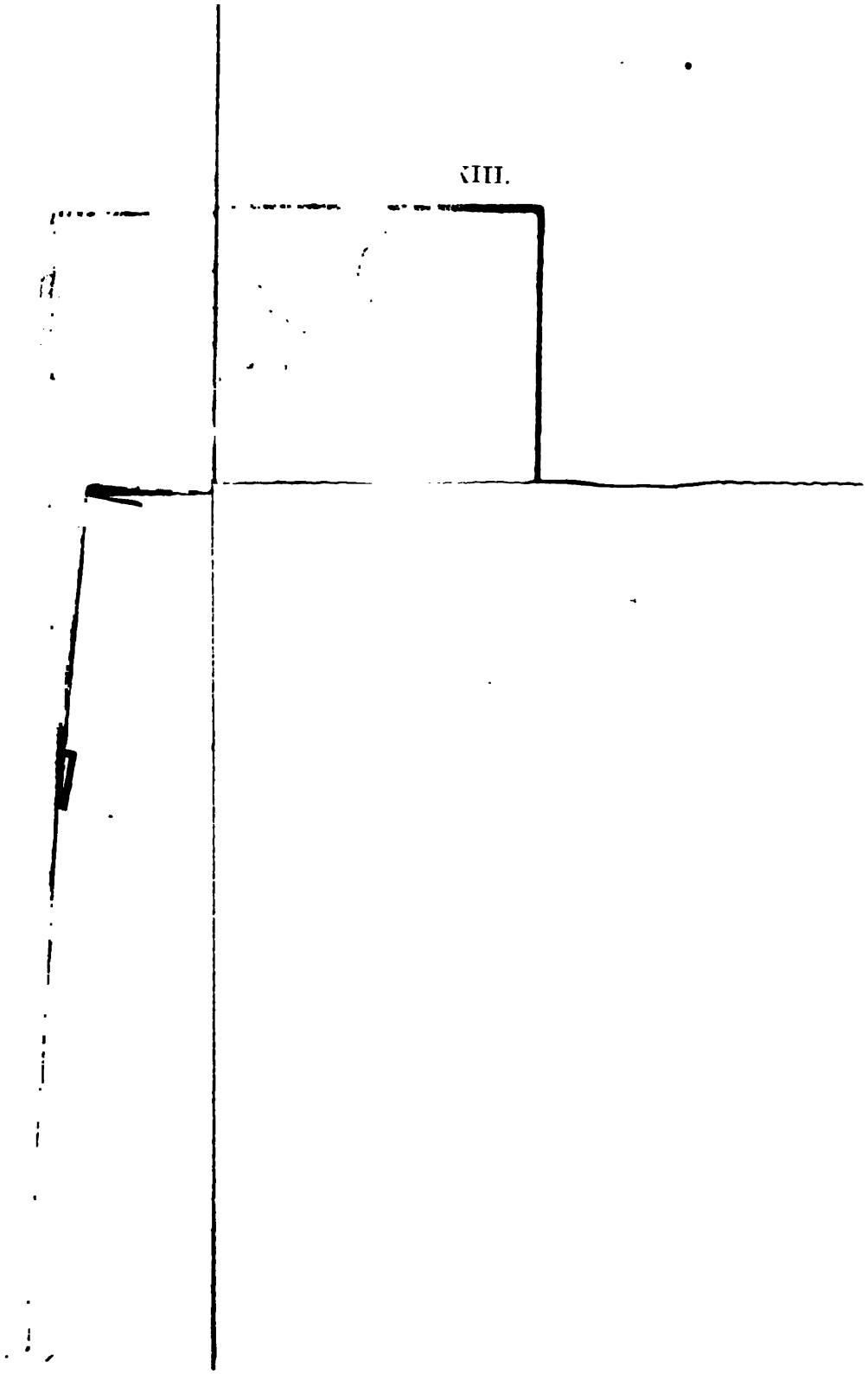
socavones. No deben abrirse nuevos socavones abajo de los anteriores sino hasta que el socavón San Francisco haya llegado á su completo desarrollo por el W., y siempre que esas nuevas obras sólo traten de cortar diaclasas que se encuentren más al W. que el tope de este socavón ya prolongado. Las obras propuestas harán la exploración completa de todas las diaclasas acuíferas de esa zona, darán salida á las aguas que provengan de la infiltración de las lluvias caídas en las cercanías, y todas las aguas que produzcan podrán correr por el canal que se está construyendo para llevarlas al Batán, con objeto de aprovecharlas como fuerza motriz.

Para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote pueden hacerse las obras indicadas, aunque no creo que ese aumento sea notablemente considerable para poderlas utilizar como fuerza motriz.

En la planicie de Amascala probablemente no se encontrarán aguas brotantes por perforaciones verticales; pero el agua de las lentes acuíferas aisladas de esa planicie puede hacerse correr en la superficie del terreno, abriendo las obras indicadas, las cuales no se pueden localizar hasta que estén deslindadas estas lentes por varios sondeos, y levantando el plano exacto y acotado de la faja de terreno en que se encuentran; datos indispensables para que las obras resulten lo más económico que sea posible. La cantidad de agua que salga por estas obras no creo que sea notablemente abundante por las razones indicadas al final de este estudio.

Instituto Geológico Nacional. México, Diciembre 30 de 1904.

XIII.



Parergi

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

TOMO I.—NUM. 9.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

LOS XALAPAZCOS

DEL

ESTADO DE PUEBLA

POR

EZEQUIEL ORDOÑEZ.

PRIMERA PARTE.

(CON UN PLANO Y CUATRO LAMINAS).

MEXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO.

CALLEJÓN DE BETLEMITAS NÚMERO 8.

1905

LOS XALAPAZCOS DEL ESTADO DE PUEBLA.

POR EZEQUIEL ORDÓÑEZ.

GENERALIDADES.

En la región central del Estado de Puebla, en la vasta llanura que circunscriben los espolones de la Sierra de Puebla y la Sierra del Pico de Orizaba que limitan allá la Mesa Central, existen varios grupos de pequeños volcanes, que aparecen ya como puntos por donde han tenido lugar erupciones secundarias, sucediendo, después de largo reposo, á las que han engendrado grandes conos volcánicos, ya mostrándose sin ninguna conexión aparente con macizos volcánicos anteriormente existentes.

En todo caso, los grupos de pequeños volcanes que vamos á describir, son de formación sumamente reciente, pertenecen á ese tipo de volcanes que se llama *volcanes de explosión* y son el resultado de la última fase del volcanismo en esa región; parece también que han sido engendrados por una causa local que sólo ha obrado momentáneamente en la parte superior de un magma eruptivo situado á no muy grandes profundidades.

Los volcanes de explosión, como decimos, parecen ser la manifestación forzosa á que se reduce la acción eruptiva en las regiones volcánicas, cuya historia de actividad toca á su fin, en tanto que la posición que un gran

número de volcanes explosivos ocupan dentro de sus áreas volcánicas tiende á demostrar que para muchos de ellos es preciso una influencia superficial determinante de la explosión. En efecto, muchos volcanes de explosión se encuentran situados en llanuras, en cuencas lacustres ó á la orilla del mar; la mayoría están situados en la vecindad de grandes volcanes, cuyo nacimiento remonta á tiempo más lejano, y á veces se forman cuando estos volcanes están en un período agonizante de actividad paroxismal, la que queda en el mundo del volcanismo de intensidad asombrosa de la época terciaria.

Nuestros volcanes del tipo explosivo, de Puebla, son como todos sus semejantes, de una sencillez de forma y estructura sorprendentes, construídos como para revelar claramente una manera peculiar de ser de los fenómenos volcánicos, en la que no parece corresponder la grandeza del aparato con la debilidad de la fuerza creadora, generalmente ineficaz para dar á luz un volumen considerable de lava ó del material donde se elabora la erupción, y más aún: un volumen de material fragmentario cinerítico que apenas bastaría ó es insuficiente para llenar la cavidad resultante. En nuestros cráteres de explosión, además de verse generalmente una serie muy regular y homogénea de material fragmentario, suministran admirables cortes donde se puede estudiar con sumo detalle la serie de capas que forman el subsuelo de aquellas llanuras.

Las consecuencias á que da lugar el estudio de los grupos de volcanes de explosión, que con tanto interés hemos recorrido en el otoño del año pasado, dan alguna contribución al conocimiento general de esta importante categoría de fenómenos, no porque introduzcan en la

literatura algún dato no observado anteriormente en sitios de volcanes semejantes, sino porque dan pruebas irrecusables de ciertos principios que con mucho vigor se vienen sosteniendo en estos últimos años. Hay solamente el temor de que las pruebas que ponen de relieve los volcanes de explosión, nos lleven, como así parece, á generalizar demasiado al tratarse de los grandes volcanes.

Como manifestaciones débiles del volcanismo, los volcanes de explosión encuentran su origen á débiles profundidades del suelo, por causas apenas eficientes; la explosión tiene lugar por un conducto estrecho, un tubo ó una chimenea casi circular, dejando las paredes intactas, sin romper ni trastornar en lo más mínimo el terreno vecino, aun en sus capas más superficiales; y por último, el material sólido que resulta de la explosión, forma alrededor del orificio un reborde apenas elevado. Algunos se encuentran tan á raíz del suelo, que parecen como sacabocados. En los llanos de Puebla, el poco realce que tienen estos conos, desiguales y truncados, aunque de base muy ancha, hace que pasen casi desapercibidos en el relieve general de la comarca, algo ondulada en las cercanías de las altas montañas que en medio de la llanura se levantan. Las partes más elevadas de los bordes de aquellos enormes cráteres, tienen en su pendiente exterior ese surcamiento radiante, característico de los conos volcánicos formados de material fragmentario, y fácilmente se confunden con los pequeños cerros de lavas cubiertos de tobas, que por ser tan comunes en la región meridional de la Mesa Central, dejan de llamar la atención de los que están habituados á esta clase de paisajes.

Es preciso ascender la pendiente, á veces muy suave, de los conos, para cerciorarse de que son los bordes de cráteres grandes, cuyo fondo desaparece debajo de un manto de agua notablemente azul, limitado á veces por angostas playas que van hasta el pie de los taludes escarpados de las paredes interiores. En algunos cráteres, las aguas lamen directamente sus paredes abruptas, las que reflejándose en aquel espejo azul producen los más bellos contrastes. Si cráteres de Italia como el Astroni, el Vivara y otros en los Campos Flégreos ó el de Montecchio en el monte Vulture, que con mano maestra describe G. de Lorenzo y el malogrado Carlo Riva, llaman la atención por la densa vegetación que invade las pendientes interiores y con "sus lagos bordeados por las verdes ninfas," los nuestros rivalizan con aquéllos por su profundidad y por sus diámetros; pero los cráteres mexicanos se distinguen por la desnudez característica de sus paredes, donde puede detenerse apenas escasa vegetación. Las capas de cenizas, de tobas, de lapilli, productos de la explosión, se ven escalonadas con débil pendiente hacia el exterior y con un color gris tan igual en todos estos cráteres, que no parece desde luego dudoso que el material cinerítico es arrancado de una misma especie de roca. Pedazos de basalto de todos tamaños, de pizarras y calizas empotrados en las capas, asoman por todas partes.

En el interior de los cráteres más profundos, el material fragmentario, producto de la explosión, se acaba, por regla general, al nivel de la llanura inmediata, y entonces se pueden ver en las paredes, con notable regularidad, bandas de color diverso de tobas amarillentas, de aluvión grueso, de arenas, de pómez, ó por último, las

secciones de corrientes delgadas de basalto de algún malpaís, cubierto por las cenizas de erupciones volcánicas posteriores.

Los cortes de antiguos ríos aparecen como lentes de aluvión; las cenizas de volcanes se mezclan á las arenas del río; en fin, se puede ver toda la historia de cómo se ha elevado la llanura interviniendo un régimen fluvial ó torrencial, un régimen lacustre y un llenamiento con volúmen asombroso de polvo y material de volcanes distantes, polvo que bajo la forma de lluvia ó de torrentes debió inundar superficies inmensas de llanura.

Las paredes interiores de los cráteres, regularmente surcadas, son para los más profundos, verticales ó sumamente abruptas; los habitantes han practicado caminos en *zig-zag* que el tránsito continuo ha excavado profundamente, ó bien han aprovechado rendijas que las aguas han cavado, por donde hay que penetrar en una especie de callejón angosto de paredes enteramente á pico; por estos caminos cubiertos de polvo, de ceniza suelta y de piedras, suben y bajan los pobres habitantes de los pueblos de los bordes en busca de agua para los usos domésticos.

No sería posible describir bien, en breves líneas, los grupos de cráteres cuyo estudio motiva estas páginas, porque cada uno tiene fisonomía propia que le distingue de los demás; hay siempre alguna diferencia en la forma ó en la estructura sobre que llamar la atención especialmente.

Hemos dicho que son tan poco prominentes estos conos é intervienen tan poco en la fisonomía general del paisaje, que los cráteres de la llanura del centro de Pue-

bla han pasado casi inadvertidos para la mayoría de nuestros geólogos y para muchos exploradores entendidos.

Humboldt no se ocupa de ellos especialmente, quizá porque no tuvo ocasión de visitarlos; de seguro su estudio le habría decidido á hacerlos entrar en línea de comparación con los cráteres de explosión clásicos de Europa, como lo hizo en su "Cosmos" con buen acopio de datos, y dando al mismo tiempo una explicación muy razonada de su modo de formación, en la que no andaban muy fuera de la verdad ni él ni otros muchos eminentes geólogos de su época.

Humboldt les suponía ya á los cráteres de explosión una edad reciente, pues dice que los valles donde aparecen tienen una forma muy parecida á la actual; y los supone contemporáneos de las corrientes de lavas de sus cercanías, lo que hoy no se admite en la mayor parte los casos.

Saussure se ocupa accidentalmente de estos cráteres de explosión, así como otros antiguos autores. Dollfus, Monserrat y Pavie se ocupan igualmente en términos muy generales.

TOPOGRAFÍA DE LOS LLANOS.

Como hemos dicho, la región que vamos á describir ocupa casi la parte central ó media del Estado de Puebla, en los Distritos de Llanos y Chalchicomula, entre las latitudes 19°8′ y 19°30′, y á más ó menos un grado y medio de longitud oriental de la ciudad de México. Los cráteres de explosión están casi en el centro de una vasta planicie, cuyos límites son: la Sierra del Citlaltepetl

ó del Pico de Orizaba, al Oriente; el extremo, en gran parte volcánico de la Sierra de Puebla, al W. y N.W., y una sierra con dirección Este-Oeste, que separa al Sur la cuenca de Chalchicomula del valle de Tecamachalco.

La planicie á que nos referimos es una de las partes más orientales de la Mesa Central, y muestra las características del mediodía de la Mesa Mexicana, es decir: la subdivisión casi insensible ó por bordes apenas elevados en varias cuencas parciales cerradas y de extensión relativamente pequeña, comunicación fácil por medio de valles relativamente angostos con otras planicies considerables que son aquí los valles de Tepeaca, Tecamachalco, Puebla, etc., aprovechados por los caminos de fierro; y por último, la presencia de pequeñas sierras aisladas en su interior ó de montañas coniformes de naturaleza volcánica, de pendientes fuertes y de considerable altura, levantándose muchas de ellas brusca y rígidamente de la llanura. Algunos de los cráteres de explosión se hallan al pie de estos grandes macizos volcánicos; otros están en los extremos de las sierras; dos de los cráteres se hallan junto á conos volcánicos muy recientes, de muy poca altura é importancia; y dos, por último, se hallan distantes de toda eminencia, constituyendo los cráteres, por sí solos, el único accidente que modifica un poco la uniformidad del terreno.

Unas escotaduras, no muy anchas, que individualizan la Sierra del Citlaltepetl, y hasta donde llega casi la llanura, marcan los bordes de la Mesa Central tan claramente, como lo haría la arista de una sierra elevada. Más allá de estos bordes, las pendientes de esta sierra ó de sierras más ó menos paralelas, que como escalones

ó gradas[1] se suceden hacia las costas, aparecen como los contrafuertes que sostienen una colosal estructura. Tal es el efecto que resulta de pasar bruscamente de una llanura muy grande á las pendientes que descienden á las costas; pero si despojáramos á la Mesa Central de la enorme masa de material volcánico que rellena grandes cavidades y suprimiéramos sus grandes picos volcánicos de más reciente creación, obtendríamos un relieve muy análogo, aunque menos grandioso, al de los soportes orientales de la gran arista que hoy sirve de eje aquí á la Sierra Madre Oriental. La asimetría de la sierra sería, pues, menos sensible.

Por las escotaduras de las Vigas y Esperanza, dominadas respectivamente por el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, salen de la Mesa Central dos vías férreas que recorren parte de las costas veracruzanas por senderos universalmente conocidos, no sólo por los marcados contrastes que les da el clima, sino por la energía que despliegan los accidentes del terreno, reflejo de una tectónica igualmente grandiosa. Tanto agrada admirar, al salir de los Llanos de Perote, las faldas orientales del Cofre, vestidas de un grueso manto rugoso de malpaís, como las faldas del cono del Citlaltepetl y de la Sierra Negra, sostenidas á tan grande altura por las montañas cretáceas de Acultzingo y Orizaba.

La planicie en cuyo medio se encuentran los cráteres, es conocida en el país con el nombre característico de *Los Llanos*. (Los llanos de San Juan, llanos de Perote, llanos del Salado, llanos de Chalchicomula.) Su conjunto tiene un contorno irregular, que resulta de las ramifi-

1 Böse.—*Geología de los alrededores de Orizaba.*—Bol. Inst. Geol. Mex. Número 13, 1899.

caciones que las sierras limítrofes envían hacia su interior. Los llanos se alargan en la dirección N. S., cubriendo una longitud de más de medio grado de latitud. La parte más septentrional, Los Llanos ó San Juan de los Llanos, es una fracción bien circunscrita que no tendríamos que considerar aquí, al no tener su drenaje hacia la parte central que es la región más deprimida donde se reunen las aguas en una grande superficie, de ordinario cenagosa y á donde desbordan las aguas de un pequeño río llamado del Salado. Los llanos de San Juan comunican con los del Salado por un boquete no muy ancho, entre los cerros de Tepeyahualco y la pequeña Sierra del Carmen. Dependencias de la Sierra de Puebla, y más aún, del conjunto de cerros volcánicos que la bordean, limitan por el Occidente la cuenca del Salado, que por el S.W. recibe las aguas del manantial de Ojo de Agua y las que nacen más allá en las faldas septentrionales del Tecajete y de las otras montañas al pie oriental del gran volcán de la Malinche. Los llanos de la cuenca del Salado se separan apenas de otras planicies muy anchas, como la que se extiende entre Apizaco y Tlaxco ó las de Tepeaca y Tecamachalco, tan bajos son así los bordes que las independen. Los llanos de Chalchicomula ocupan el tercio meridional de esta región típica de la Mesa Central, encerrada al Sur por una larga sierra que se orienta de N.W. á S.E., casi de E. á W., ligada en las cercanías de Esperanza con la cadena de bajos conos volcánicos que parten de la Sierra Negra y del Citlaltepetl, cuyos flancos occidentales sirven también de límite á los fértiles campos de Xalapazco, Tlachichuca y Ocotepec, al N.W. de la ciudad de Chalchicomula. Nada tan notable en esta región como la Sierra

del Pico de Orizaba, que tantas veces se ha mencionado por los que han escrito sobre este volcán ó sobre su pariente cercano, el Cofre de Perote, situados uno en cada extremo de la sierra, cuya cresta, un poco interrumpida, orientada de N. á S., se ve erizada de gibas, que si no son muy prominentes, al menos parecen subdividirla en macizos por efecto de la localización de los puntos por donde se han verificado con más energía las erupciones, pues toda la sierra es de naturaleza volcánica.

En sus pendientes occidentales, surcadas por barrancas transversales, se levantan varios conos más jóvenes, y cerca de la base de la sierra, como pegadas á ella, hay sierras bajas y pequeñas de rocas sedimentarias, que dan al conjunto cierto movimiento y le quitan su simplicidad.

Una corriente de lava desprendida de los macizos volcánicos del centro de los llanos, y que va hasta encontrar las pendientes de la Sierra del Citlaltepetl, separa los llanos de Chalchicomula, en las cercanías de la Hacienda de la Capilla, de los llanos de Quecholac, situados al Oriente de los del Salado. Aquellos llanos reciben las aguas del flanco occidental del Cofre, y se pierden en su suelo absorbente cubierto de polvo fino y detritus.

La extensión de los llanos de Perote sería muy grande si no hubiesen sido inundados por un enorme malpaís que ha escurrido de unos volcanes al Norte, cuyo manto grandioso de lava, desde cerca de los bordes de los anfiteatros de las Minas, hasta su límite en los llanos de San Juan, con una anchura de 20 kilómetros, cubre una superficie de más de 300 kilómetros cuadrados. Este malpaís que llamaremos del Vigía, la eminencia más alta que en él se destaca, se cuenta entre los últimos

acontecimientos más importantes que han cambiado de fisonomía aquel país, pues casi contemporáneo á él han brotado otras pequeñas corrientes de lava en el interior de los llanos, y cuya formación está íntimamente ligada con la del gran número de cráteres de explosión.

Las eminencias en el interior de los llanos, se encuentran agrupadas un poco excéntricamente, pues se aproximan más de la Sierra del Citlaltepetl que del borde también volcánico del Occidente. Los cerros más prominentes son Las Derrumbadas, dos montañas gemelas de forma aproximadamente cónica, de fuertes pendientes y casi completamente cubiertas de vegetación; su nombre les viene de los derrumbes que constantemente tienen lugar, no solamente en las paredes abruptas de sus barrancas, sino también cerca de las cimas y en los lugares donde la pendiente es mayor que la del talud natural de la tierra suelta, en la que se resuelve la roca (andesitas), cuando ya ha sufrido una alteración muy avanzada. Es muy posible, y nos inclinaremos á creer que esta alteración no es puramente atmosférica, sino que estas rocas han sufrido en partes la alteración química producida por algunos gases de fumarolas hoy completamente extinguidas. Casi al pie de una de estas imponentes montañas existe todavía un respiradero de aire caliente y vapor de agua, en el que funda el vulgo su creencia de que los derrumbes constantes son el efecto de una acción volcánica actualmente manifiesta. Hace pocos años, en una de las Derrumbadas hemos visto y admirado la velocidad y el estruendo con que ruedan las piedras por las barrancas hasta detenerse, después de un trayecto de cerca de 100 metros, en ya enormes

terreros. En la Derrumbada septentrional observamos cerca de la cima un derrumbe en roca tufácea, que se agranda con rapidez increíble, muy notable por la forma caprichosa que han tomado los accidentes del terreno. Partes de roca menos atacada forman aristas muy agudas, separadas por surcos transversales profundos y muy próximos, de tal manera que á la distancia tienen la apariencia de gigantescas pirámides de tierra. La parte de montaña así atacada es una mancha clara desnuda, en medio de la tupida vegetación, y debe ser muy reciente el principio de la fuerte acción erosiva, porque de los bordes de los grandes paredones que ha practicado la erosión, hemos visto caer grandes árboles. Las Derrumbadas, de altura casi igual, se elevan próximamente á 800 metros sobre los llanos; sus cimas se ven cubiertas frecuentemente de gruesas nubes, y son condensadoras importantes que originan repentinas y fuertes precipitaciones.[1]

Los torrentes que bajan de los derrumbes acarrean grandes cantidades de tierras, que han formado colosales conos de deyección.

En la base meridional y occidental de Las Derrumbadas se encuentran cerros de menor altura, que ya son pequeños volcanes con su cráter, coronando á pequeñas corrientes de lava, ó bien porciones muy denudadas de gruesos pliegues de rocas cretáceas, como en los cerros llamados de "Las Ventanas." Igualmente, del lado

---

1 Esta opinión va un poco contra la idea de Saussure, quien al hablar de la irregularidad de las lluvias en la Mesa Central, dice que en la llanura de Perote, hacia las Montañas de las Derrumbadas, las lluvias son menos persistentes. *Coup d'œil sur l'Hydrologie du Mexique, etc.* Mém. de la Soc. de Géographie de Genève, 1862.

oriental, un volcán muy joven, aparte de abundante ceniza, arrojó una corriente de lava al Norte de la Hacienda de la Capilla, que hubo de cortar la comunicación entre los llanos de Chalchicomula y los de Quecholac y San José, que hoy forman una cuenca separada. Dollfus, Monserrat y Pavie[1] han hecho aparecer la corriente de lava de la Capilla en su perfil de Perote á Tehuacán, y han hablado de las formas variadas que han tomado por la erosión las colinas tufáceas que se encuentran en sus inmediaciones.

Las estructuras más importantes del interior de los llanos, son las que se encuentran al N. y N.E. de Las Derrumbadas, no por su altura, que es muy inferior á la de estos altos macizos, sino por la naturaleza del material que las forma, por su tectónica y por la independencia que muestran entre sí á pesar de su proximidad. Consisten estos otros conjuntos montañosos: uno, de un grupo de cerros coronado por una eminencia central llamada la Sierra Blanca, de naturaleza completamente volcánica. La forma de este conjunto resulta de la reunión, por decirlo, de varios cráteres, en su mayoría de explosión, pegados los unos contra los otros, con la particularidad de que los más importantes no son de material basáltico como los cráteres-lagos que se encuentran inmediatos, sino constituídos de pómez y cenizas rhyolíticas, formando gruesas capas en los bordes de estos cráteres, y envolviendo numerosas bombas de obsidiana negra. La parte más elevada de la Sierra Blanca es una especie de tapón cilíndrico de roca rhyolítica tufácea, ocupando el medio de un gran cráter de tobas rhyolíti-

1 *Archives de la Commission Scientifique du Mexique.* Paris, 1868.

cas, tan fácilmente atacadas por la erosión, que reproducen en escala menor, pero no menos instructiva, esas entalladuras profundas y menudamente distribuídas que hemos citado hablando de Las Derrumbadas. Estas formas, producidas por erosión, imprimen á la Sierra Blanca su sello característico. Muy blancas se ven estas partes desgarradas del borde cratérico de la Sierra Blanca, en contraste con la masa cilíndrica rojiza de su cima con sus paredes verticales. La vegetación lucha para mantenerse vigorosa en medio de esta destrucción. El color blanco de las superficies descarnadas de ceniza, bien le han valido el nombre de Sierra Blanca.

Para dar una idea clara de estos cráteres, que por su naturaleza rhyolítica son muy interesantes, nos proponemos consagrarles particular atención después, más cuando se encuentran al lado de otros cráteres de explosión del tipo basáltico, que son los más comunes.

El otro grande macizo, al Norte de Las Derrumbadas, en lugar de ser un conjunto de cerros agrupados entre sí, más por origen que por liga topográfica, es verdaderamente una sierra en forma de media luna, con la parte entrante mirando hacia el N.W. Comienza en sus dos extremos por colinas bajas, ligadas entre sí, las que se elevan progresivamente hasta constituir un espinazo continuo con pocas ramificaciones. Casi en el medio de la sierra se encuentran las mayores alturas, como se ve en nuestro perfil. Aunque dicha sierra está formada por rocas de distinta naturaleza, los efectos de la erosión no han dejado señales aparentes que las distingan, y sí muy visibles contrastes de color que nos han servido de guía para la demarcación de las áreas que cada formación abarca. Entre las rocas (que unas son sedimen-

tarias y otras intrusivas y eruptivas), hay, en cuanto á los efectos de denudación, cierta subordinación; las sedimentarias, susceptibles de un desgaste fuerte, no sólo por su posición sino por su poca dureza en general, se han preservado bastante, porque las rocas intrusivas forman el núcleo de la sierra; también hay en ellas cierta rigidez en el contacto causada por los fenómenos de metamorfismo tan marcados, que ocasionaron dichas rocas ígneas. Nuestro plano geológico y el perfil, dan una buena idea del aspecto topográfico de esta sierra, llamada de Techachalco, que se levanta como una unidad en medio de los llanos, pero muy próxima de la Sierra Blanca y de Las Derrumbadas, entre las que se interpone un cráter-lago, el cráter de explosión de Atexcaqui, uno de los más interesantes y grandiosos de los que vamos á describir en la segunda parte de este estudio.

De una manera verdaderamente accidental, intempestiva, sin ninguna relación geológica, encontramos muy inmediatos á la Sierra de Techachalco otros cráteres de explosión, que muestran estructuralmente tan completa independencia con aquel antiguo macizo, que sin embargo de haber sido creadas las cavidades por una reacción violenta del interior, no han producido el más insignificante movimiento en el terreno vecino, aunque sí hayan volado en pedazos pequeños estribos de la sierra, en aquellas partes que se opusieron al paso de gases y vapores y del material pulverulento de la explosión. Los restos de los estribos de roca sedimentaria asoman todavía en las paredes del cráter de Atexcaqui antes citado. Así como este bellísimo cráter se encuentra en el extremo S.W. de la sierra, en el extremo N.

se encuentra otro de los más grandes, el cráter de Alchichica; en la punta de un pequeño estribo, al Oriente de la misma sierra, apareció un tercero, el cráter de la Preciosa. Nadie puede suponer, de lo poco que se tiene á la vista, que para la formación de estos cráteres ha habido necesidad de una causa común tectónica, que si existe, no la podemos hoy descubrir fácilmente, pues los cráteres no tienen orientación definida; tampoco vemos fallas importantes en las rocas sedimentarias de la sierra de Techachalco que tengan conexión con la situación de los cráteres; parece que lo mismo pudieron surgir aquí estos modernísimos aparatos, que lejos de toda montaña, como es el caso para el cráter-lago de Quecholac que se encuentra aislado en medio de los llanos, entre la Sierra de Techachalco y la Sierra del Pico de Orizaba.

Al hablar de las numerosas cuencas cuyo conjunto forman los llanos de Puebla, es importante notar que en un principio formaban un solo vasto recipiente que se ha subdividido por los cambios de nivel que ha traído consigo la aparición de los cráteres en muy reciente época, y la acumulación del material cinerítico que han arrojado, así como también las corrientes de lava basáltica que son un poco anteriores á los cráteres. Siempre las más grandes de las cuencas tienen como núcleo las montañas del interior de los llanos; sin embargo, no nos aventuraríamos á trazar todas las cuencas sobre un plano, porque para fijarlas con alguna exactitud serían necesarias cuidadosas nivelaciones, pero veamos otra vez cómo se encuentran distribuídas, si esto es necesario, después de lo que ya hemos expuesto sobre este asunto: La Sierra de Techachalco, la Sierra del Citlal-

tepetl y la corriente de lava de la Capilla, limitaban un valle que se unía á los llanos del Salado; la formación del cráter de Alchichica interceptó la comunicación, no por la elevación de su propia estructura, sino por los polvos volcánicos arrojados á distancia y por el arrastre de este material por la erosión; así pues, queda circunscrita la cuenca de Quecholac, que tiene un reborde muy bajo entre los bordes del cráter-lago mencionado y la pequeña sierra de calizas cretáceas que entra en el grupo de la Sierra de Tecoxtepec. Al Norte de la cuenca de Quecholac y limitada principalmente por las faldas del Cofre de Perote, la sierra del gran Malpaís del Vigía Alto y el cerro Pizarro, se extiende la cuenca de los llanos de Perote cubierta de cenizas volcánicas, cuya depresión apenas se puede considerar separada de la de los llanos del Salado, cuya extensión hemos ya bosquejado. Por último, citamos las cuencas de San Juan y la de Chalchicomula, esta última un poco más regular de forma y más extensa, alimentada principalmente por el Citlaltepetl y limitada al Norte por Las Derrumbadas. Las aguas del Pico de Orizaba se reunen en pequeños ríos, uno de los cuales pasa cerca de Chalchicomula y se pierde en los terrenos bajos del medio de esta cuenca.

Por regla general, la magnitud de los ríos como el de Chalchicomula, del Salado, etc., no corresponde en manera alguna el caudal de aguas que dichas cuencas son susceptibles de recoger, dada la importancia y frecuencia de las lluvias durante la propia estación; pero no debe olvidarse que todos los llanos están cubiertos de material volcánico muy poroso que permite la infiltración rápida de las aguas, además de que se extienden en gran superficie tan pronto como corren en la débil pen-

diente en el fondo de las cuencas, aumentando así la infiltración. Las aguas del Salado sí permanecen largo tiempo formando charcos y pantanos, porque esta cuenca recibe muy grande caudal y el lecho está formado, en gran parte, de capas de toba caliza dura.

El río de Chalchicomula se porta en las lluvias como un verdadero torrente, mientras que el Salado se desborda é inunda los terrenos durante los meses del Estío, interceptando ó haciendo intransitables los caminos que ligan los pueblos y haciendas del Norte con los poblados del medio de los llanos. El plan del Salado, en su parte más baja, se cubre de un manto de agua salada que se convierte en un terreno blanco, árido, cubierto de eflorescencias salinas durante el período de secas. Al pasar la estación de las lluvias, grandes charcos persisten por algunos meses. La abundancia de sales, especialmente de tequezquite, es bastante para mantener pequeñas fábricas de sosa en las cercanías del pueblo de Virreyes.

Obras muy simples de canalización podrían cambiar mucho las condiciones hidrográficas de la localidad. Como un ejemplo, citaremos una presa que existe en una hacienda al Occidente, que retiene un volumen de aguas considerable que viene del extremo oriental del Salado, en las cercanías de Huamantla, y que previene las inundaciones en los terrenos inmediatos al pueblo de Tepeyahualco. Se ha hablado ya de un proyecto de canalización para sacar las aguas de estas cuencas y verterlas en los valles del Sur, hacia Tecamachalco. Esto da una idea de lo poco elevados que son los bordes de las cuencas.

Separado del núcleo de montañas del medio de los llanos por medio de la parte más baja de la depresión

del Salado, se encuentra al Norte como obstruyendo el curso del gran Malpaís del Vigía, el cerro Pizarro, una alta montaña de base muy ancha, coronada por un cono regular rocalloso y de fuertes pendientes. Después de los cerros gemelos de Las Derrumbadas, el cerro Pizarro es el más elevado de los llanos, y de más atractivo por su forma elegante, como veremos después, y muy sugestiva. Se desprende muy bien en el paisaje como una gran pirámide, pues está lejano de toda eminencia que pudiera distraer un poco la figura casi simétrica de su contorno. La pirámide aguda superior que compone la mitad de toda la estructura, surge, por decirlo así, del medio de un gran cono truncado; peculiar disposición que no se puede percibir claramente sino á distancia, y especialmente por su lado oriental y septentrional. Fácilmente se descubre que el cerro Pizarro es el esqueleto de un antiguo volcán; es de constitución rhyolítica y de una importancia capital en el estudio cronológico de las rocas de la comarca, pues parece, según veremos más tarde, que las lavas más viejas relacionadas con este macizo han cubierto una superficie enorme, oculta ahora por los gruesos depósitos acumulados durante y después de las erupciones de los grandes volcanes andesíticos de la Sierra del Citlaltepetl y de los modestos volcanes de explosión. El cerro Pizarro es igualmente instructivo en conexión con el estudio de la Sierra Blanca, constituída de material semejante y de los cráteres de explosión de pómez que están adheridos á la masa cilíndrica que corona á esta sierra. El cerro Pizarro es la nota que embellece el camino de fierro Interoceánico en su tramo de Tepeyahualco al Limón, pues se pasa tan cerca de su base que es posible apreciar muchos de los detalles topo-

gráficos de su falda meridional, impresionando vivamente, como ya dijimos, la simetría de sus líneas. Como complemento necesario del estudio de los cráteres de la región, habremos de referirnos otra vez al Pizarro, haciendo una descripción más detallada.

Encontrándose los Llanos cerca del borde de la Mesa Central, en su región meridional, se comprende que su altura absoluta cuenta entre la de los valles más altos mexicanos. Tomando un promedio entre las alturas comparadas de las diversas cuencas componentes, encontramos que la altura media de los Llanos es de 2,325 metros, no sobrepasada entre los grandes valles más que por la del valle de Toluca.

Las alturas mayores del interior de los Llanos, hemos indicado ya que son las de los cerros gemelos de Las Derrumbadas, cuya elevación sobre la planicie no ha sido medida todavía con exactitud, pero puede calcularse aproximadamente en 800 metros. La del cerro Pizarro la hemos determinado con un buen aneroide en 3,080, ó sea de 725 metros sobre el Salado. Las otras eminencias ofrecen alturas moderadas, citándose, sin embargo, la de la cima más alta de la Sierra de Techachalco: la del cerro de Magdalena, con 2,690 metros, y la del punto más alto de la Sierra Blanca, que puede ser de 2,450 metros, que tampoco ha sido determinada.

En la lista siguiente se verá la pequeña altura á que se elevan los bordes de los cráteres de explosión, alturas tomadas, por regla general, de los puntos más altos de los bordes, apartándose á veces demasiado de la altura media, porque la mayoría de los cráteres tienen sus bordes muy desigualmente elevados.

Si se comparan las alturas del nivel del agua del fon-

do de los cráteres-lagos que rodean la Sierra de Techachalco, se observará desde luego que es apenas inferior á la de la llanura en donde se levantan, circunstancia que parece poner de manifiesto la dependencia de estos receptáculos con la distribución de las aguas de nivel poco profundo ó freáticas, relación que se manifiesta aún por los cambios de nivel que se observan en el nivel de las aguas de los cráteres.

La frecuencia de las lluvias en la región de los Llanos, se halla dentro de las cifras de precipitación de los otros grandes valles meridionales de la Mesa Mexicana, así como su clima en general responde al de una planicie muy elevada cercada de altas montañas; es decir, cambios bruscos en la humedad atmosférica por efecto del enrarecimiento del aire, temperaturas relativamente bajas, correspondientes á la altura y á la influencia de las altas montañas. Sin embargo, la variación general de aquel clima depende, en gran parte, del efecto que producen los nortes y las tempestades del Golfo, cuya acción se hace sentir siempre en el interior de la Mesa Central. Es característica de los Llanos, la frecuencia de fuertes vientos, principalmente en los meses del invierno, y que soplan más violentos en los llanos de Perote, efecto seguramente de la circulación que se establece entre los aires calientes y húmedos de las costas y los fríos y secos de la Mesa, que encuentran fácil circulación por el boquete que separa al Cofre de Perote de las sierras que circundan los anfiteatros y barrancas al Norte de las Vigas. La circulación encontrada de los vientos en los llanos de Perote, origina frecuentes y grandiosos remolinos. La violenta circulación de los vientos en los meses del invierno, tiene lugar aun en las

grandes alturas, como hemos podido comprobarla en nuestras ascensiones al Cofre de Perote.[1]

Ponemos á continuación una lista de las alturas de algunas de las montañas interiores de los Llanos y de los cráteres de explosión.

San Andrés Chalchicomula	2,520 m.
Estación de Chalchicomula, F. C. M.	2,430 ,,
Hacienda de Xalapazco, borde del Xalapazco[2] Grande	2,555 ,,
Fondo del Xalapazco Grande	2,485 ,,
Borde E. del Xalapazco Chico	2,600 ,,
Fondo del Xalapazco Chico	2,450 ,,
Aljojuca. Plaza del pueblo	2,530 ,,
Iglesia del Calvario, borde del Axalapazco de Aljojuca	2,570 ,,
Pueblo de Atenco, borde W. del Axalapazco de Aljojuca	2,490 ,,
Nivel del agua Axalapazco de Aljojuca	2,385 ,,
Borde E. del Axalapazco de Tecuitlapa	2,495 ,,
Borde W. del Axalapazco de Tecuitlapa	2,475 ,,
Cima del cerrito en medio del cráter de Tecuitlapa	2,470 ,,
Nivel del agua Axalapazco de Tecuitlapa	2,390 ,,
Tepeyahualco, pueblo	2,355 ,,
Llanos del Salado	2,350 ,,
Hacienda de Pizarro	2,355 ,,
Cima del cerro Pizarro	3,080 ,,
Hacienda de Techachalco	2,360 ,,
Cerro de Magdalena, cima principal de la Sierra de Techachalco	2,690 ,,
Portezuelo del camino entre Techachalco y la Preciosa	2,575 ,,

1 Mucho y bueno ha dicho Saussure respecto al clima de esta región de México en su *Coup d'œil*, etc. Mém. de la Soc. de Géographie de Genève, 1862.

2 *Xalapasco* y *Axalapazco* son palabras indias que usamos para designar los cráteres de explosión, como se explicará en la segunda parte de este trabajo.

Cima del Cerro Grande, Sierra de Techachalco.	2,570 m
Portezuelo del camino de Techachalco al Axalapazco de Atexcaqui.....	2,470 ,,
Borde oriental del Axalapazco de Atexcaqui.....	2,520 ,,
Nivel del agua Axalapazco de Atexcaqui.....	2,410 ,,
Borde Sur del Axalapazco de la Preciosa.....	2,400 ,,
Nivel del agua Axalapazco de la Preciosa.....	2,395 ,,
Ranchería de Quecholac, borde del Axalapazco de Quecholac.....	2,385 ,,
Nivel del agua Axalapazco de Quecholac.....	2,365 ,,
Borde S.E. del Axalapazco de Alchichica.....	2,375 ,,
Nivel del agua Axalapazco de Alchichica.....	2,345 ,,
Cima del cerro de Tepeyahualco.....	2,610 ,,

LAS CONDICIONES TECTÓNICAS DE LOS LLANOS.

Con los datos que anteriormente hemos expuesto sobre la topografía general de los Llanos, de las montañas que los rodean y la sucinta indicación de las clases de rocas que las constituyen, nos parece posible entrar en algunas consideraciones sobre las condiciones tectónicas de toda esa región. Quizá hubiera sido más práctico referirnos á tan importante asunto, al final del estudio que nos proponemos en este trabajo; pero como no nos ocuparemos especialmente más que de las creaciones más recientes y de otras formaciones muy localizadas, no sería posible encontrar cabida en otra parte, á considerar de nuevo los Llanos en conjunto. Además, esta pequeña contribución á la tectónica, no es más que una explicación concisa de los hechos que hemos podido observar aisladamente, puesto que los elementos que nos han servido tuvieron que ser tomados de puntos más ó menos diseminados y distantes de los lugares donde se encuen-

tran los cráteres, cuyo estudio absorbió la mayor parte del tiempo.

Según hemos visto al hablar de la topografía, en el interior de los Llanos se encuentran sierras pequeñas, constituídas de rocas sedimentarias y montañas elevadas, construídas con material eruptivo. Lo mismo debe decirse de las sierras limítrofes; unas son puramente eruptivas, como la del malpaís del Norte, y la del Citlaltepetl, y las otras de rocas estratificadas, como la del Sur y la Sierra de Puebla, por más que esta última se halle bordeada por rocas de naturaleza volcánica. En la mayor parte de los casos se observa topográficamente una separación bien clara entre los macizos constituídos de unas y otras rocas, especialmente cuando las rocas eruptivas son comparativamente jóvenes. Una simple mirada sobre el paisaje, basta para notar la independencia que existe entre la sierra de arista no interrumpida del Citlaltepetl con las pequeñas sierras constituídas de calizas cretáceas, que con cierto paralelismo siguen el flanco y la base occidental de aquella sierra, y que penetran, ya ligadas, ya discontinuas, hacia el interior de los Llanos, como se ven en las cercanías de Tlachichuca, de Tepetitlán, al Norte de Chalchicomula; ó bien cerca de la hacienda de Tenextepec y del pueblo de Cuautotolapan, al S.W. de Perote. En el Occidente de los Llanos se advierte la misma separación, como se ve fácilmente al N.W. de San Juan de los Llanos. Nada tienen de común en lo que se refiere á relieve, en el interior de las cuencas, las Sierras de Tepeyahualco, de Techachalco, de Tecoxtepec, las Ventanas, etc., de calizas y pizarras, así como otras pequeñas aristas bajas de las mismas rocas, ni con el cerro Pizarro ó con la Sierra Blanca, de rocas rhyolíticas, ni con

las Derrumbadas de rocas andesíticas, por más que la Sierra Techachalco y la Sierra de las Ventanas estén muy inmediatas á aquéllas. Esta independencia topográfica de los macizos eruptivos jóvenes, de las montañas de rocas sedimentarias, tienen una importancia decidida en la tectónica, porque muestra fácilmente que si bien las construcciones volcánicas por su volumen y altura son las que dan hoy al terreno su mayor relieve, las rocas sedimentarias, de tiempo atrás, habían ya dado una fisonomía á toda la región que no había de venir más que á exagerarse poderosamente al final de un gran ciclo volcánico. En efecto, la Sierra de Citlaltepetl debió seguir en su formación la línea directriz marcada por la orientación de los pliegues escalonados que componen la Sierra Madre Oriental, surgiendo aquella sierra de una sola vez y creciendo después por series paroxismales de erupciones y por desalojamiento de los puntos de erupción. La misma observación puede hacerse en los bordes de la Sierra de Puebla, en donde las masas eruptivas se extienden según las líneas marcadas por la orientación de las aristas sedimentarias. No podemos entrar aquí en la discusión de si tales masas han seguido líneas de fallas ó de fracturas, ó abierto por sí solas su propio camino; pero el hecho de seguir las sierras, con marcado paralelismo el rumbo de los pliegues de rocas cretáceas que definen el relieve oriental de México, es ya bastante para suponer una débil resistencia según esta dirección, como lo asienta claramente Aguilera,[1] y á lo que parece inclinarse el Dr. Böse,[2] aunque ha-

1 J. G. Aguilera.—*Sobre las condiciones tectónicas de la República Mexicana.* Of. Tip. de la Secretaría de Fomento. México, 1901, pág. 31.

2 Dr. E. Böse.—*Sobre la independencia de los volcanes de grietas preexistentes.*—Mem. Soc. Alzate, T. 14, pág. 218-221.—México, 1899

ya apoyado en algunos casos la idea de la independencia de los volcanes de las grietas preexistentes.

Una particularidad notable del terreno que nos ocupa, es que las montañas volcánicas del interior de los Llanos no están agrupadas formando sierras, sino que aunque muy próximas entre sí, son independientes una de otra. Apenas podría decirse que las Derrumbadas gemelas se ligan por su base, cuanto que el portezuelo que se interpone es muy poco más elevado que la llanura y está ocupado hoy por un moderno y pequeño volcán. El cráter-lago de Atexcaquí, en el flanco Norte de la Derrumbada septentrional, se interpone entre ésta y la Sierra Blanca, y por último, el cerro Pizarro está totalmente aislado. Estos agrupamientos de cerros volcánicos elevados y no de sierras, en medio de los grandes valles y cuencas, es muy característico en el Sur de la Mesa Central, y es indudable que su posición obedece á ciertas particularidades en el modo de ser de las rocas que les sirven de base, dispuestas en pliegues que dejaron largas cavidades profundas, hoy convertidas en valles amplios y planos á fuerza de rellenamiento.

Si suprimiéramos en la región de los Llanos el enorme espesor de material volcánico detrítico allí acumulado en capas sucesivas, obtendríamos varias de esas fosas profundas que han resultado: bien de los hundimientos en block verificados en extensas comarcas del país, ó bien valles profundos que formaban los grandes plegamientos, según los cuales se marcan fallas más ó menos paralelas y escalonadas, tal como se ven según Böse[1] en la vertiente oriental de la Sierra Madre hacia

1 E. Böse.—*Geología de los alrededores de Orizaba.*—Bol. Inst. Geol. México, núm. 13, 1899.

el Golfo. Aguilera y otros, opinaban con anterioridad que tal debería ser la tectónica, al considerar los movimientos de las rocas cretáceas cuando han experimentado esfuerzos que las han obligado á doblarse en pliegues paralelos normales á la dirección de las fuerzas tangenciales que sobre ellas han obrado. Felizmente, de la superficie sensiblemente plana de los Llanos, como hemos visto, sobresalen numerosas arrugas de rocas cretáceas que se han salvado, á causa de su altura, del diluvio de cenizas volcánicas y de aluviones que rellenaron las fosas. De tales surgimientos, más ó menos esporádicamente diseminados, podemos sacar, según creemos, los trazos fundamentales de la tectónica de esta región.

En efecto, cualquiera que pueda ser la orientación de las sierras cretáceas de los Llanos, las capas de diversa naturaleza petrográfica y espesor tienen un rumbo casi constante N.W.-S.E., ó que oscila alrededor de la línea Norte-Sur. Además, los echados de las capas son siempre muy fuertes, ya hacia el Este como al Oeste, aunque este último parece ser predominante. Muchas aristas pequeñas tienen una dirección más ó menos transversal, de manera que en las faldas asoman las cabezas de las capas, lo que permite apreciar, aun á distancia, en la superficie siempre desnuda y rocallosa, el rumbo de los estratos.

Petrográficamente, las rocas sedimentarias de los Llanos se pueden separar en tres clases, que por orden de sobreposición se suceden de abajo hacia arriba como sigue:

I. Pizarras arcillosas algo satinadas, de color gris claro, muy hojosas, con intercalaciones de capas delgadas de caliza. II. Capas muy gruesas de calizas grises,

muy semejantes á las calizas de Escamela y á las calizas con rudhistas de la serie cretácea de Orizaba, y III. Capas no gruesas de calizas y de calizas algo arcillosas con numerosos lentes de pedernal. Las primeras, como las últimas, parecen haber cedido fácilmente á los plegamientos, pues que se ven en algunos lugares con accidentes pequeños, no así las intermediarias, que muestran siempre pliegues y curvaturas de muy grande radio. Las pizarras arcillosas constituyen, con algunas rocas intrusivas y volcánicas, la Sierra de Techachalco, en el medio de los Llanos; parte de las calizas gruesas se encuentran allí también, aunque con discordancia sensible, y se ven igualmente en otras sierras lejanas; por último, la serie III es bien característica en varias sierras, pero especialmente en la de Tepeyahualco y en otras pequeñas aristas inmediatas.

Ahora bien; las pizarras arcillosas muy hojosas son, á no dudarlo, las rocas más antiguas de la serie sedimentaria de los Llanos, lo mismo que las considera Böse en la vertiente oriental de la sierra, de donde las ha descrito con el nombre de "pizarras de Necoxtla," aunque no fija la edad con seguridad por haberlas encontrado desprovistas de fósiles. En el contrafuerte de la alta Sierra de Techachalco, que va hacia el cráter-lago de la Preciosa, Dollfus, Monserrat y Pavie,[1] vieron estas pizarras sin fósiles; las comparan, por su aspecto, á las de la formación Silúrica de Gembloux, en Bélgica, sin que lleguen á afirmar que esta es la edad de esas pizarras.

La circunstancia de encontrarse las pizarras en el me-

1 *Archives de la Commission Scientifique du Mexique.*—Note acompagnant la coupe de Perote à Tehuacan. II.—1867.—Paris.

dio de los Llanos, de tener un rumbo semejante al de las calizas en gruesos bancos y al de las calizas con pedernal, y por último, la regularidad y en algunos casos la simetría de los echados, nos deciden á considerar el conjunto de los afloramientos sedimentarios de los Llanos como los restos de un gran anticlinal, un poco acostado, afectado de numerosos pliegues más pequeños, paralelos y escalonados. Alrededor del corazón del gran anticlinal, que parece ser la Sierra de Techachalco, se han verificado numerosos hundimientos de grandes blocks de pliegues enteros de calizas. Viene después la poderosa erosión, las erupciones, el relleno de material volcánico que cubre las hondonadas de los pliegues y las fosas de hundimiento, á transformar la región en una llanura con numerosas aristas y picos volcánicos. Sería muy difícil asegurarse, considerando el enorme relleno de material volcánico, qué condiciones de tectónica reglaron la salida de las grandes masas eruptivas en el interior de los Llanos; pero basta sugerir que su posición coincide con algunos trastornos grandes en los pliegues de rocas sedimentarias, para comprender que estos trastornos contribuyen decididamente á la formación de los macizos volcánicos en determinadas regiones.[1]

Lo que hemos expuesto aquí en pocas palabras, respecto á la tectónica de los Llanos, deducida desgraciadamente de un número reducido de datos, es una buena aplicación, ya que se muestra con bastante claridad, de

1 Esta condición de tectónica que afecta á los grandes macizos, no parece necesaria para volcanes pequeños y cráteres de explosión que no son más que los testigos del agotamiento y subdivisión de grandes focos volcánicos. Véase á este respecto lo que hemos dicho en nuestra pequeña nota: *Sobre ejemplos probables de tubos de erupción*. Mem. Soc. Alzate. T. 22, 1905.

las ideas expuestas por Aguilera en las páginas de su estudio recientemente publicado sobre las "Condiciones tectónicas de la República Mexicana."

Se comprenderá fácilmente la magnitud del gran anticlinal con sus pliegues secundarios, cuyos restos asoman en los Llanos, recordando qué partes de los pliegues laterales están distantes en algunas partes más de 30 kilómetros.

LA SIERRA DE TECHACHALCO.

Hemos dicho que la Sierra de Techachalco con la Sierra Blanca y las Derrumbadas, constituyen un núcleo importante de montañas en el medio de los Llanos, y que alrededor de ella se encuentran varios volcanes de explosión. Topográficamente, la Sierra de Techachalco es muy simple, sus accidentes, aunque numerosos, son poco pronunciados, como lo revela desde luego el contorno de su cresta; no tiene pendientes bruscas ni grandes ramificaciones y se prolonga de un extremo al otro en la forma de una curva de ocho kilómetros de longitud. La sierra es relativamente ancha en su medio (correspondiendo á las mayores alturas: cerro de Magdalena, cerro de la Preciosa, etc.), y angosta y poco elevada en sus dos extremos. Todos los accidentes estratigráficos son fáciles de observar porque la superficie está desprovista de vegetación y esto mismo permite notar la poca ó ninguna relación que existe entre la disposición de sus rocas y las formas que afectan las pendientes como si dichas formas hubiesen sido cinceladas puramente por la erosión; pues por ejemplo los arroyos, que son poco profundos, definidos por la concurrencia de super-

ficies convexas, se encuentran en un constante estado de juventud porque la denudación ejercida sobre toda la superficie de la sierra es tan eficaz, que no deja tiempo á madurar los surcos más intensamente atacados de los arroyos. Esta condición de las formas en una sierra de rocas relativamente antiguas, procede de la facilidad con que se dejan atacar las rocas que la constituyen y de la influencia del clima (cambios bruscos de temperatura, vientos fuertes y frecuentes, grande sequedad y humedad alternativas, y por último, lluvias de carácter torrencial). La Sierra de Techachalco, pues, está en un estado avanzado de disección, y así lo comprueban las condiciones estratigráficas.

En efecto; la parte central de la Sierra de Techachalco es un macizo intrusivo con costras adheridas de la formación sedimentaria en la que se hubo inyectado, y las cuales lo revisten con muy diferente espesor.

En otros lugares, sin embargo, principalmente en los extremos de la sierra, predominan las rocas sedimentarias. En las partes medias de la sierra, las pizarras separadas en girones hacen ver que son verdaderos parches que se han escapado de la erosión en los contactos con la roca intrusiva.

El grupo de rocas sedimentarias consiste, como hemos dicho, de una serie de pizarras muy exfoliadas, arcillosas, ligeramente satinadas, de colores claros (verde gris, gris amarillento, blanco agrisadas), con intercalaciones de calizas apizarradas. Presentan echados muy fuertes, desde 55° hasta completamente verticales, y con rumbos que oscilan entre 45° y 70° N.W., es decir, en posición casi transversal al rumbo medio de la sierra, de tal modo, que en la cresta y en las pendientes se ven

constantemente las cabezas de las capas resistentes, asomando como costillas salientes. Desgraciadamente no es posible fijar la edad de estas pizarras por la ausencia de fósiles, pero si como es posible, corresponden á la serie que se encuentra en la región de Necoxtla, en la bajada oriental de la Mesa Central, entonces se les puede atribuir una edad anterior á las rocas del cretáceo medio (calizas), que soportan allá en muchos lugares.

El hecho real es que estas pizarras parecen muy antiguas, aunque las hayamos colocado provisionalmente como pertenecientes al cretáceo inferior. Ya hemos visto cómo Dollfus, Monserrat y Pavie las comparan, petrográficamente, con las de la formación silúrica de Gembloux, en Bélgica.

Pequeños girones de calizas, en gruesos bancos, se encuentran en el extremo meridional de la sierra, uno de cuyos girones está representado en nuestro plano en el cerro de la Calera. Dichas calizas tienen un rumbo semejante al de las pizarras, pero con echado contrario (70° al N.E.). Hay, pues, una falla, que hizo deslizar una parte del macizo intrusivo que hoy aparece como cortado en la proximidad de las calizas un poco despedazadas en la falla.

Aunque los echados de las pizarras son un poco variables, predomina, sin embargo, la inclinación hacia el S.W. De uno y otro lado del macizo intrusivo se puede encontrar el mismo horizonte de rocas, á juzgar por el número y posición de las intercalaciones de calizas apizarradas. Entonces, para explicar esta disposición, hay que recurrir á la idea de que los extremos N. y S. y S.W. de la sierra, representan las dos ramas de un colosal anticlinal descabezado, acostado un poco hacia el N.E.,

tal como lo hemos querido representar en nuestro perfil. Si esta es la verdadera posición de las pizarras, es probable que éstas constituirían la parte más elevada del geoanticlinal destruído, cuyos pliegues secundarios encontramos en los límites de los Llanos en rocas del cretáceo medio (calizas en gruesos bancos y calizas apizarradas), de que hemos hablado en la tectónica general de esta región.

El estudio estratigráfico y tectónico de las pizarras de Techachalco, habría sido mucho más fácil si no hubieran sufrido un tan avanzado metamorfismo en el contacto con las rocas intrusivas, que las han transformado en rocas silizosas muy duras (corneanas) destruyendo su exfoliación y dándoles, á veces, un aspecto que mucho se confunde con las mismas rocas intrusivas cuando son éstas afaníticas. La complicación se aumenta con la presencia de diques y vetas minerales, no sólo en las mismas rocas intrusivas sino también en las pizarras. Numerosos de estos diques, desde unos cuantos decímetros hasta cuatro metros de espesor, siguen el rumbo de las pizarras ó las cortan oblicuamente en las lomas bajas que se desprenden del cerro de la Ventura en el extremo Norte de la sierra, cerca del cráter-lago de Alchichica. El metamorfismo de las pizarras se ve muy claramente en zonas relativamente grandes, lejanas de los contactos, por ejemplo: arriba del cerro de la Ventura, en el portezuelo á un lado de la cima del cerro de la Preciosa y cerca del cerro de la Calera; en este último lugar, la presencia de calizas cerca del contacto, produce calizas muy cristalinas con algunos silicatos de metamorfismo, como el granate que se encuentra en pequeños cristales.

Si tomamos en cuenta la posición de las pizarras con respecto á la masa de roca intrusiva y á la forma de este macizo, podremos cerciorarnos de su completa independencia tectónica. La intrusión tuvo lugar posteriormente al movimiento de las pizarras. Además, la sierra debería haber ya sufrido una fuerte erosión, no sólo porque se ha inyectado la roca en delgados diques, sino también porque brotó hasta la superficie, mostrando entonces los caracteres de una erupción. Nuestra roca está en diques al Norte, se presenta como un macizo intrusivo en el medio de la sierra y al Sur; y por último, en la cima más alta, en el cerro de Magdalena, sale á la superficie sobre las pizarras, como un doma. La emisión de la roca es acompañada de ciertos movimientos bruscos que engendran brechas de fricción. En la cima de Magdalena se ven las rocas de efusión con un partimiento horizontal á la vez que vertical, es decir, una estructura columnar y también de gruesas lajas sobrepuestas. (Quesos.) La correlación estricta entre las rocas efusivas y las de intrusión, se manifiesta en la cresta de la sierra por la perfecta gradación que existe entre ellas á despecho de las grandes diferencias extremas, pues desde una estructura francamente granítica que tiene en gran parte la roca de la intrusión se llega hasta la estructura microlítica, rica en pasta vítrea en las efusivas, sobre una composición mineralógica y química algo diferente.

La roca más profunda y probablemente la dominante en el *stock* de Techachalco, es holocristalina hipidiomorfica, compuesta de playas alotriomorfas de ortoclasa y cristales idiomorficos de oligiclasa, de piroxena y algunas veces también de hornblenda. Los cristales de

piroxena se agrupan en nidos y se asocian con el cuarzo, el que á su vez se distribuye en la masa como último elemento de formación. La esfena existe en numerosos cristalitos pequeños en algunas de estas rocas. Esta composición responde á la de las monzonitas cuarcíferas.

Cerca de los contactos con las rocas sedimentarias, ó para decir mejor, en la periferia del macizo intrusivo, las rocas son generalmente muy finamente granudas ó microcristalinas porfíricas, pues en una pasta como la de los microgranitos, formada de cuarzo y ortoclasa, hay diseminados cristales de oliglocasa y de hornblenda ó de piroxena, esta última, alterada las más veces en epidota.

En los diques tan numerosos en el extremo Norte de la sierra, las rocas ya contienen muy poca ó ninguna ortoclasa. Se transforman en rocas de pasta microlítica, con cristales de oligoclasa y de piroxena ó de hornblenda. Se pueden considerar como porfiritas andesíticas.

Por último, la masa efusiva que corona el cerro de Magdalena, contiene mayor cantidad de residuo vítreo entrando en la categoría de andesitas de hornblenda. Hay también aquí, brechas y tobas andesíticas.

EL CERRO PIZARRO.

Hemos hecho ya mención en las páginas anteriores, al tratar de las montañas que se levantan en medio de los Llanos, del cerro Pizarro, cuya altura y forma peculiar llaman desde luego la atención.

En efecto, el macizo se levanta á 730 metros de altura sobre la llanura del Salado, que está á su vez á 2,350

metros sobre el nivel del mar; así es que la altura absoluta del cerro es de 3,080 metros.

De cualquier lugar que se mira la montaña, presenta una figura igual y un contorno simétrico. La montaña del Pizarro, que aparece con formas algo rígidas por la falta de abundante vegetación arborescente, muestra, topográficamente, dos partes distintas, muy claramente separables y muy sugestivas: *a.*—Un cono truncado de pendiente no muy fuerte, de base muy ancha y de sección circular que se levanta suavemente de los Llanos. *b.*—Un cono superior agudo, casi una pirámide triangular, que aparece como surgida del centro del gran cono de la base.

Esta forma, de doble cono, se aprecia muy bien en la vista de la lám. XVIII, tomada del lado occidental. En la vista tomada del Sur, desde la llanura, el cono inferior apenas se reconoce en los contrafuertes que rodean la base del cerro y cuyo contorno hemos trazado en el esquema.

La pirámide superior, es más bien lisa que con accidentes de importancia, á no ser surcos insignificantes ó barrancas incipientes, mientras que el cono truncado inferior, de bordes un poco recortados, se ve subdividido á causa de barrancas tortuosas distribuídas en su derredor, separando numerosos acantilados ó pequeños talúdes de pendiente desigual.

La montaña puede ser accesible casi por todos lados, pero hemos escogido para nuestra ascensión el camino muy cómodo que se ha practicado en el flanco occidental y que llega hasta la mitad de la altura, es decir, hasta la corona de rocas del cono inferior, pues aunque aparentemente éste se muestra de menor altura que el cono

superior, con relación á la llanura, se dividen entre los dos casi por mitad la altura total de esta eminencia.

Bien pronto se advierte, al ascender el Pizarro, que entre ambos conos hay una cierta independencia, aunque el cono ó la pirámide terminal se levanta, por decirlo así, del centro geométrico del cono que le sirve de zócalo. Una depresión anular se advierte al partir del borde oriental del gran cono de la base, encorvándose en semicírculo tanto hacia el Norte como hacia el Sur, siempre descendiendo, hasta abrirse en el lado occidental, donde una interrupción del talud externo del gran cono se ha sustituído por un colosal cono de deyección. Se comprende fácilmente que la erosión es el motivo principal de esta individualidad en las partes constitutivas del Pizarro, pues vemos en las depresiones anulares verdaderas barrancas por donde circulan las aguas, marcando su paso arroyos cubiertos de grandes piedras desprendidas de los acantilados que se alzan en el talud interno del cono inferior, algunos de los cuales tienen hasta 50 metros de altura; pero es también seguro, partiendo de la constitución geológica de esta curiosa montaña, que la erosión ha acentuado fuertemente, más que diversificado la forma original de toda la estructura.

Por lo que respecta á la forma del Pizarro, se habrá podido comprender que es el resto de un antiguo volcán; todas las rocas que constituyen esta montaña son de naturaleza rhyolítica.

A despecho de la abundancia extraordinaria de rhyolitas, bocas de erupción de esta clase de rocas, no son, á la verdad, muy comunes en México, porque la erosión ha arrastrado hasta con los vestigios ó dejado esqueletos que apenas se pueden identificar.

Vestigios de grandes corrientes de rhyolitas hemos descrito al hablar de los grandes anfiteatros de las cercanías de las Vigas[1] y de las pendientes de la Sierra del Citlaltepetl, no lejos de Xalapa. El volcán rhyolítico del Pizarro, puede muy bien ser uno de los últimos aparatos creados durante la erupción de aquellas corrientes de lavas ácidas que para escurrir en la superficie han atravesado las calizas y pizarras cretáceas muy plegadas sobre las que descansan directamente. Si es cierto que este macizo rhyolítico y otros pequeños aparatos rhyolíticos en medio de los Llanos pueden tener alguna conexión, como hemos dicho, con la amplia meseta rhyolítica de Chavarrillo, que forma un escalón de la Sierra del Citlaltepetl en su descenso hacia la costa, y con las corrientes de los anfiteatros, etc., productos de erupciones anteriores á la formación del Cofre y Pico de Orizaba, entonces podríamos suponer que debajo de las lavas del Cofre de Perote y debajo de los sedimentos volcánicos recientes que cubren la superficie de los Llanos, un manto rhyolítico más ó menos denudado debe existir, llenando alguna de las grandes depresiones formadas durante el movimiento tectónico de las rocas cretáceas. Sin embargo, entre los nuevos volcanes del tipo explosivo que han aparecido en los Llanos, y que posteriormente vamos á describir, sólo en una región circunscrita han mostrado material rhyolítico. La presencia de material basáltico, como único constituyente de los nuevos cráteres de explosión, nos decide á pensar que se han formado estos cráteres directamente sobre el

1 Las barrancas de las Minas y de Tatatila. Bol. Soc. Geol. Mex. T. I.—1905.

substratum general, es decir, en los flancos de los grandes y agudos pliegues de las rocas cretáceas.

Para dar una idea comprensiva de la estructura del Pizarro, hemos formado un perfil, ejecutado fielmente con los datos que hemos adquirido al hacer nuestra ascensión por el flanco septentrional, y un tanto hipotético en el flanco opuesto, que no hemos recorrido sino hasta la mitad de la altura.

Es muy sencilla la construcción del cono superior, pues no está formado más que de un macizo de rhyolita de color rosado ó gris, con partimientos en lajas gruesas verticales ó muy poco inclinadas, que se descubren francamente cerca de la cima del cono.

Hacia abajo, cerca de su base, la roca maciza se cubre de un aglomerado en forma de talud, formado de piedras de todos tamaños, retenidos por productos terrosos de desagregación de esas mismas rocas y por tobas ó productos cineríticos, que son más abundantes á medida que alcanzan el nivel de la corona de rocas del cono truncado inferior. Si suprimiéramos los taludes de *detritus* que envuelven el cono superior del Pizarro, encontraríamos un macizo de forma piramidal tan agudo, que casi se asemejaría á un verdadero obelisco, descansando, como hemos dicho, en medio de un cráter de grandes dimensiones.

Más variada por el carácter físico de los materiales, es la estructura de partes del gran cono truncado inferior, cuya semejanza á un cráter no se ha perdido en el lado septentrional, á despecho de una avanzada erosión, y que se identifica no sólo por la forma anular de la cavidad interpuesta entre sus bordes y la base de la pirámide, sino aun por la ordenación de los productos que

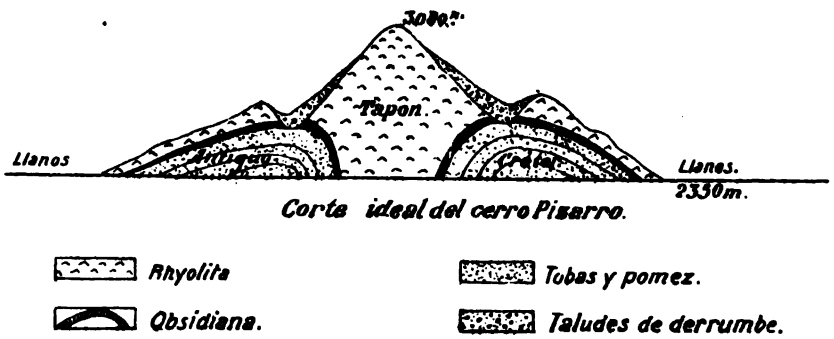
atestiguan luego una acumulación sucesiva, como es la estructura de muchos cráteres volcánicos.

En la parte más baja que se puede ver, del talud interno del lado Norte de este enorme cráter, encontramos una masa toscamente estratificada de material cinerítico, compacta á fuerza de presión, envolviendo pedruscos no muy grandes de rhyolita maciza. Hasta un cierto nivel, la masa de tobas se acaba y descansa sobre ella, siguiendo la forma anular del contorno de la barranca, una faja de obsidiana negra, muy claramente visible por su color, que en la pared escarpada se ve como una cinta obscura, ya uniforme, ya subdividida en capas por intercalaciones de roca pomosa más clara de color. La obsidiana dura, resistente á la erosión, forma en partes la cresta del anillo, partida en columnas imperfectas ó en masas redondeadas, y en partes se corona de grandes trozos acantilados de rhyolita litoide, semejante á la del cono superior. Un grande acantilado que muestra estos diversos estados del material rhyolítico que constituye esta parte del Pizarro, se encuentra á la entrada de la barranca por el lado N.W. En general, entre las tobas de los aglomerados, la pómez, la obsidiana y la rhyolita litoide maciza, hay todas las transiciones posibles, enseñando, como es natural, que no son más que estados físicos diversos de un solo magma. Lo curioso es la posición relativa de los materiales, pues que ocupan el más bajo nivel los productos acumulados durante una lluvia de cenizas y pedruscos, después de lo cual, rocas fundidas ó pastosas escurrieron y se consolidaron sobre las tobas y aglomerados.

En los deslaves que han engendrado las lluvias en la base del cono superior, se pueden ver partes de aglome-

rados semejantes y manchones de obsidiana, ya como capa que allí asoma, ya como simples pegaduras, y como si correspondiesen á la capa del borde del círculo exterior; asimismo las rhyolitas de este borde se parecen á las rhyolitas litoides de la cima del cono superior, y si son productos de la misma erupción ó de distintos paroxismos, no puede decidirse fácilmente; pero de todas maneras, la idea que sugiere la regularidad con que se manifiesta la estructura del cono inferior, es la de un cráter de grandes dimensiones, cuya forma no ha podido desvanecer completamente la erosión, aunque haya reducido mucho su altura. El cono superior es indudablemente el tapón que obstruyó para siempre esta chimenea de erupción, y que se ha de haber levantado sobre el cráter en la forma de un doma ó de un obelisco, si es, como parece seguro, que el cráter de cuyo medio surgió no alcanzó nunca la altura actual de la cima del Pizarro. Nada de extraño tendría, tampoco, que hubiese sido una pirámide poco elevada sobre los bordes de un cráter como la pirámide del Ajusco, ó un tapón en forma de doma, como el del cráter del Xinantecatl. El Pizarro es, pues, el esqueleto de un antiguo volcán rhyolítico, que tiene por base, debajo de materiales volcánicos, las rocas cretáceas cuyos pliegues asoman en la base occidental en una pequeña arista llamada el cerro de San José.

Al escurrir la lava del vastísimo malpaís del Vigía, el Pizarro ha servido de obstáculo. Desde la cima del cerro se ve el manto negro llegar hasta la base tendida del Norte, y desviarse hacia el N.E. y Oriente como una ancha faja desgarrada que inunda parte de los Llanos de Perote.



* * *

Hemos indicado ya que por las condiciones de yacimiento y por los caracteres microscópicos, las rocas del Pizarro se relacionan entre sí de tal modo, que es preciso considerarlas como simples estados físicos diferentes de una sola materia, de un solo magma, en el que han variado las condiciones de su enfriamiento en el acto de su erupción. Esta idea, adquirida desde un principio en el terreno, quedó plenamente confirmada con el estudio microscópico y con los análisis químicos hechos sobre los materiales que muestran las más grandes diferencias de estructura.

Estos análisis dan una proporción muy fuerte de sílice, más de lo que se podía esperar, deduciendo la composición de la observación microscópica, pues que si bien muchas preparaciones, especialmente de las rocas con mayor número de elementos cristalinos, se presentan con el aspecto frecuente de las rhyolitas, hay algunas de estas mismas que tienen la apariencia de dacitas. Pero lo que más llama la atención es la relativa pobreza

de los álcalis y de la cal, y la relación poco común en las rhyolitas, entre las cantidades de sosa y de potasa. Estas diferencias en la composición normal, se verifican en las llamadas con toda propiedad *rhyolitas sódicas* (Natron Liparit),[1] ó en las rocas de la isla de Pantelleria (Panteleritas), descritas primeramente por Foerstner.[2]

Además de la característica química que introduce en las rocas descritas por Foerstner la fuerte cantidad de sosa, se especifican muy bien por la presencia constante de minerales ferromagnésicos que no son de ordinario muy frecuentes en las rhyolitas comunes. Tales minerales son la augita y una hornblenda triclínica (la cossyrita). Nuestras rhyolitas sódicas del Pizarro no contienen, en verdad, este último mineral, pero llevan constantemente una mica biotita muy ferrífera, en pajillas generalmente alargadas, á veces opacas y muy pequeñas, que en sus formas aparentes y por sus tintes de polarización, se podrían tomar á primera vista como de cossyrita. Tienen, además, estas rocas, en su pasta vítrea, la augita en microlitas. Si las rocas del Pizarro pueden considerarse ó no, como una variedad de Panteleritas, en el sentido de la corriente clasificación, no nos creemos bastante autorizados para decidirlo. Sería preciso reconocer que existe como elemento constante la anortoclasa, y creemos haberla visto solamente en muy raros casos, bien que los fenocristales en nuestras rocas

1 Rosenbusch.—*Mikrosk. Physiographie der mass. Gest.*—Stuttgart. 1896, pág. 570.

2 *Nota preliminare sulla geologia dell'Isola de Pantelleria &c.* Boll. del R. Com. Geol. d'Italia. Vol. XII, 1881. Roma. Desgraciadamente no hemos podido consultar los otros trabajos del autor sobre el mismo asunto, especialmente el estudio de los minerales componentes de estas rocas publicados en el *Zeitsch. für Krystallographie, &c.*

son muy raros. Además, la proporción de sílice sobrepasa un poco á la que como máximum contienen las panteleritas originales y aun las rocas que entran en el rango de las pantelerasas de la clasificación cuantitativa americana.[1]

En todo caso, nuestras rhyolitas entran en la categoría de las rhyolitas sódicas, como las que describe Ossan de algunas montañas del Trans-Pecos, Texas,[2] ó como las de Palache, del Norte de Berkeley, en California.[3]

Para comparar, ponemos á continuación dos análisis de rocas del Pizarro; una litoide, (I) y la otra obsidiana, (II) el análisis de Foerstner de la pantelerita más rica en sílice de Pantelleria, (III) y el de rhyolita sódica esferolítica de Berkeley (IV) (Palache):

	I.[4]	II.[4]	III.	IV.
SiO_2	75.94	74.37	72.5	75.46
Al_2O_3	15.67	14.86	11.5	13.18
Fe_2O_3	0.23	0.06	7.1	0.91
FeO	1.06	2.94	5.4	.....
MgO	0.10	0.28	0.9	0.10
CaO	0.53	0.85	1.5	0.95
Na_2O	5.70	6.32	7.7	6.88
K_2O	0.76	0.77	0.9	1.09
H_2O	0.32	.....	.....	0.93
	100.31	100.45		

1 C. I. P. W.—*Quantitive Classification of Igneous Rocks. 1903.*
Chemical Analysis of Igneous Rocks published by H. S. Washington. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper Nº 14. Washington. 1903.

2 Rep. on the Rocks of Trans-Pecos, Texas. 4th. An. Rep. Geol. Survey of Texas. 1892.

3 *The Soda-Rhyolite North of Berkeley.* Bull. Dept. of Geology Univ. of Cal. Vol. I. 1893-96.

4 Los análisis de las rocas del Pizarro fueron hechos en el Laboratorio Químico del Instituto Geológico por el Dr. Víctor von Vigier, Ayudante de química del mencionado Laboratorio.

Como se ve, los análisis se encuentran bastante comparables entre sí, haciendo abstracción de las pequeñas diferencias en fierro y cal, que dependen de la diversa naturaleza de los minerales coloridos que cada una tiene ó que casi no contienen, como la rhyolita de Berkeley.

De acuerdo con el aspecto microscópico y el grado de desvitrificación de las rocas del Pizarro, se pueden distinguir tres variedades que se ligan entre sí por transiciones numerosas: 1.—Roca compacta, litoide, sin fenocristales, de pasta esencialmente felsítica. 2.—Roca de abundante pasta vítrea, con estructura perlítica desvitrificada en abundantes microlitas feldespáticas y rosetas granofíricas ó micropegmatíticas y microlitas de augita. 3.—Obsidiana negra de fractura concoide, algo desvitrificada y con algunos fenocristales de feldespato y biotita.

Como decimos, hay todas las transiciones entre estas variedades, y tienen de común los mismos minerales, aunque en muy variable proporción, principalmente el cuarzo, los feldespatos, la biotita y la augita, y las segregaciones cristalinas de cuarzo y feldespato.

La mayor parte de los feldespatos de estas rocas, constituyen el producto de una sola generación en el período de la erupción y como el efecto de una desvitrificación. Es por esto que se presentan como microlitas de extremada pequeñez en las rocas litoides asociadas con el cuarzo, ó independientes, pero formando parte de la pasta de la roca y también como cristales microlíticos, que raras veces alcanzan la magnitud de cristales completos. Las microlitas muy pequeñas y los cristales microlíticos, parecen pertenecer á la misma clase de feldespato, y aunque sus características ópticas no son

fáciles de determinar por su pequeñez, la composición química obliga á considerarlos como de albita. Su forma es de tablitas largas con macle simple, con débil ángulo de extinción ó de rectángulos y cuadrados no macleados, ligeramente agrietados y asumiendo entonces la apariencia del sanidino. En la mayor parte de los casos, estos rectángulos tienen la extinción paralela á la arista de mayor longitud ó muy poco desviada. En las tablitas gemelas, la línea de unión es siempre sinuosa. La oligoclasa también se encuentra en microlitas y en muy raros fenocristales, así como secciones de micropertita de láminas extremadamente delicadas; y por último, pequeños cristales con muy finas láminas de gemelos, que referimos á la anartoclasa. Son tan escasos como los de micropertita, y vienen de preferencia en las variedades 1 y 2.

El cuarzo entra en abundancia en la pasta felsítica de las rocas litoides, y como granos ó cristales primarios en todas las variedades, aunque no muy abundante.

La mica biotita se encuentra con extraordinaria profusión, especialmente en las variedades vítreas. Este mineral, por su abundancia, da el carácter distintivo de las rhyolitas del Pizarro. Se encuentran en la forma de tablitas de contorno exagonal, pero alargadas según la arista (001), (010). La sección normal á la base da barritas en las que se reconoce el crucero propio de este mineral. Los colores de polarización convienen á los de la mica muy ferrífera: pardo bronceado y verde amarillento en la zona de alargamiento.

Las variedades vítreas de las rocas contienen, como productos de la desvitrificación, finos granos y cristalitos de un mineral de color ligeramente verdoso, que re-

ferimos á la augita. No ha sido posible determinarla con exactitud por la excesiva pequeñez de los granos; pero tienen exactamente la apariencia de los individuos microlíticos y cristalíticos que traen muchas obsidianas y retinitas, y que han sido considerados como de augita.

Lo que contribuye quizá más á dar á algunas de nuestras rocas cierto aspecto porfirítico, es la presencia de las segregaciones muy curiosas, en las que se ve claramente la íntima asociación del cuarzo y feldespato.

Las más abundantes son las playas granofíricas, ya en la forma de rosetas ó de playas de contorno irregular, ya conservando la forma del cristal de feldespato, y en las que el cuarzo aparece dentro de aquél en la forma de pequeñísimos triángulos ó de cuñitas regularmente distribuídas en hileras paralelas ó radiantes. Suelen encontrarse cristales dobles de feldespato penetrados en cruz con cuñitas de cuarzo; alumbradas alternativamente las que contiene cada cristal, produciendo exactamente la apariencia de esos cristales descritos por Iddings de las rocas de Obsidian Cliff.[1]

Menos frecuentes son playas de feldespato con cuarzo en la forma micropoikilítica; las que abundan, por otra parte, según veremos después, formando parte de la pasta de las rocas litoides, y por último, mencionaremos esferolitas formadas de microlitas de feldespato, dispuestas radialmente (esferocristales). Las esferolitas, propiamente dichas, no se encuentran en las rocas del Pizarro.

Para terminar, daremos una descripción sucinta de

1 *Obsidian Cliff Yellowstone National Park.* 7th. An. Rep. U. S. Geol. Survey. 1888. Pl. XV. Fig. 3.

las rocas en sus variedades indicadas antes, y ya que conocemos los minerales que las constituyen:

La roca litoide se encuentra invariablemente en el cono superior ó pirámide; es de un color gris claro rojizo, con partimiento en lajas en posición vertical. Es, á veces, muy compacta, de fractura sensiblemente concoide, con bandas de varios tonos de gris y con poquísimos fenocristales de cuarzo y feldespato, visibles á la simple vista. En otros casos, la roca menos litoide tiene una superficie áspera y finamente granuda, con manchas aún más ásperas, blanquecinas, de aspecto espumoso como el que muestran las cavidades de las litofisas, pero no consisten más que de aglomeraciones de partículas de vidrio y de granitos de cuarzo. Microscópicamente, la pasta de la roca es hipocristalina á causa de la avanzada desvitrificación de un vidrio incoloro, que en residuo aparece en los intersticios de un tejido microcristalino de cuarzo y feldespato. Esta materia felsítica contiene también numerosas microlitas rectangulares feldespáticas, que son tan abundantes en algunas muestras, que ocultan la materia felsítica y las rocas toman entonces el aspecto de las dacitas. Pero esta masa felsítica y microlítica no es más que el cemento de un gran número de cuerpecitos toscamente esféricos, que en las preparaciones se muestran como rosetas más alumbradas, de contornos indecisos, de superficie muy finamente granular, y que con fuertes aumentos se resuelven: unas veces en playitas de cuarzo con granitos de feldespato micropoikilítico, y otras, en playitas granofíricas de cuarzo y feldespato, que en los bordes de las rosetas ó estrellamientos se ven más individualizadas. Son muy semejantes á las grandes playas ya citadas, é iguales á las que

hemos descrito hace tiempo, de rhyolitas de varias otras localidades mexicanas.[1] Por último, algunas rosetas se resuelven en agrupaciones toscamente radiantes de microlitas feldespáticas (esferocristales).

Los escasos fenocristales de esta roca son seccioncitas de albita, raros cristales de oligoclasa y la biotita.

Siendo esta la roca de más avanzada desvitrificación y la que forma la pirámide del Pizarro, nos parecen corroboradas por la investigación microscópica las condiciones de enfriamiento de esta masa; es decir, que viniendo la lava á la superficie en estado pastoso, se mantuvo llenando la boca del conducto sin ningún escurrimiento, con reposo bastante para poderse enfriar con lentitud, cubierta probablemente de una costra rápidamente enfriada y por lo tanto más vítrea, la que ha desaparecido de la cima del cerro por erosión, pero que todavía se encuentra en los bordes del cráter en masas de vidrio perlítico ó de obsidiana.

Una variedad, que pudiéramos llamar intermediaria entre las rocas litoides y las vítreas, viene en lechos intercalados entre las rocas perlíticas y aun entre las fajas de obsidiana. Consiste de bandas de litoidita que marcan una laminación, cuyas bandas, de un color pardo obscuro, están separadas por capitas de estructura cavernosa más claras de color y muy ásperas, dejando cavidades alargadas semejantes á las cavernas litofísicas tubuliformes de las litoiditas del cerro de las Navajas.[2] Se intercalan, igualmente, lechos de vidrio perlítico, conteniendo pequeños esferoides aplastados, de vidrio

1 Ordóñez.—*Las rhyolitas de México.* Bol. Inst. Geol. Mex. núm. 15. 1901. Págs. 47-49.

2 Ordóñez.—Loc. cit.

negro obsidiánico. Esta roca lleva muchos cristales microlíticos de feldespato, muchas playas granofíricas y numerosas pajitas de biotita.

Las rocas perlíticas de la variedad II, vienen arriba y abajo de los bancos de obsidiana que yacen sobre los bordes del cráter del Pizarro; tienen un color gris, el partimiento perlítico se revela á primera vista porque la superficie muestra finos glóbulos con el lustre de la pez. La obsidiana, que es la roca original, se ve aún en la forma de glóbulos negros, formando el núcleo de conchas perlíticas. No ofrece esta roca otra particularidad al microscopio, excepto la abundancia de microlitas de feldespato, numerosas láminas de biotita y gran cantidad de granos verdes y barritas en el vidrio, que suponemos son de augita.

Los altos acantilados que forman las paredes del cráter del lado Norte, están constituídos de litoidita y de poderosos bancos de pómez de color rosado, con muchas pequeñas láminas de mica. La obsidiana y la roca perlítica aparecen incompletamente transformadas en pómez, en granos y pedazos en la masa de la pómez.

La variedad III, es la obsidiana, de un color negro, de fractura concoide, de lustre graso más que vítreo y de superficie ligeramente rugosa; contiene algunas triquitas capilares, granos verdosos de augita, laminitas muy perfectas de biotita y secciones rectangulares de feldespato, ampliamente diseminadas como microlitas en la masa del vidrio.

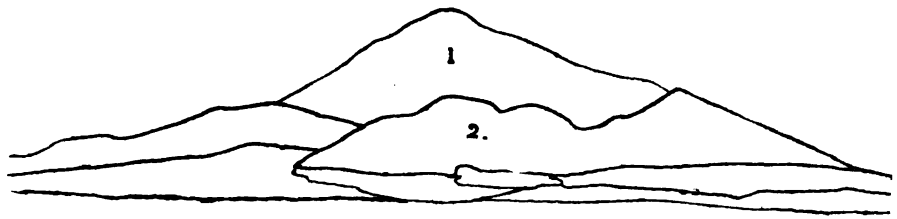
Vista de una de las Derrumbadas, á la derecha el talud exterior del Axalapazco de Atezcaqui. En primer término, asoman las calizas del extremo de la sierra de Techachalco.

Vista del borde del malpais de Xaltepanapa, cerca de Tepeyahualco.

1.—Doma.
2.—Cráter.

S.—Chapel.
L.—Dome.
Wibbijs
Grand canal del Salado.
S.
L.
S.
Karoo.

Vista W del cerro Pizarro.



Llanos del Salado.

1.—Doma.
2.—Cráter.

FIGURE 60. Colorado.

1.—Dome.
2.—Crater.

Vista Sur del cerro Pizarro.

SECRETARIA DE ESTADO Y DEL DESPACHO DE FOMENTO, COLONIZACION E INDUSTRIA.

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

TOMO I

(NÚMEROS 1-10)

MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPÍA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Callejón de Betlemitas núm. 8

—

1903-1906

PARERGONES

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

TOMO I.—NUM. 10.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA.

LOS XALAPAZCOS

DEL

ESTADO DE PUEBLA

POR

EZEQUIEL ORDOÑEZ.

SEGUNDA PARTE.

(Con tres planos y ocho láminas).

MEXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO

CALLEJON DE BETLEMITAS NUMERO 8.

1906

LOS AXALAPAZCOS.

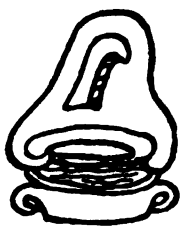
Después de las generalidades sobre los cráteres de explosión que en dos palabras hemos expuesto en la primera parte de este estudio, nos vamos á ocupar de la descripción, un poco detallada, de estas construcciones volcánicas que se encuentran en los llanos del Estado de Puebla.

Se habrá notado que los cráteres de explosión han sido designados por nosotros con el nombre genérico de *Xalapazcos*, palabra india con que los antiguos mexicanos designaron á estos cráteres, especialmente á los de la región de que hablamos, y quisiéramos conservar esta palabra para la designación general de todos nuestros cráteres de explosión, porque encierra en sí, ya una idea de la constitución y forma de estos aparatos.

En efecto, los mexicanos llamaron *Apaztli* á las vasijas de barro que acostumbraban fabricar para los usos domésticos; pero en la representación jeroglífica del *Apaztle* del Códice Aubin,[1] dicha figura consiste en un trasto de barro colocado abajo del signo de cerro, de donde nació la idea de considerar la palabra *Apaztli* por la significación del verbo *Apatzca,* también para representar el lugar donde se filtran las aguas ó sinónimo de

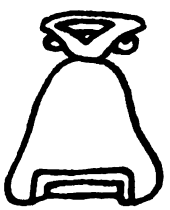
1 *Peñafiel.* "Nomenclatura Geográfica de México." México, 1897.

manantial, y tal podría ser en realidad la mejor interpretación del jeroglífico en el que la vasija de barro se encuentra al pie de la montaña (fig. 1).



Apazco.

Fig. 1



Apazco (variante)

Fig 2

Pero no podían pasar inadvertidos para los indios mexicanos la multitud de cráteres volcánicos diseminados en los vastos dominios de su imperio, y mucho menos los cráteres de explosión, de gran diámetro, construídos con material pulverulento, y cubierto de agua su fondo. Como muchos de estos cráteres se encuentran en medio de llanuras, junto á ellos erigieron muchos pueblos para estar al alcance del líquido para sus necesidades. No es de extrañar, pues, que los indios llamaran á los cráteres de Puebla, *Xalapazcos,* que en su propia lengua quería decir *vasija de arena,* aludiendo al material con que están construídas estas enormes cavidades en forma de vasijas. Todavía con más propiedad llamaron *Axalapazcos* á las *vasijas de arena con agua,* ó lo que es lo mismo, á los cráteres-lagos.

En la variante del jeroglífico de *Apaztli,* que damos en la figura 2, tomada igualmente de una obra del Doctor Peñafiel, vemos que la vasija se encuentra sobre el

signo de cerro y no en la falda como en la figura anterior, y parece entonces que tal jeroglífico podría referirse, entre otras acepciones, no ya á manantiales, sino á las cavidades embudiformes ó á los cráteres de nuestros volcanes, puesto que un manantial muy raras veces se encuentra en la cima de un cerro. Sea ó no que la figura número 1 pertenezca á la representación jeroglífica de manantial, puede también significar un *Apazco* ó un *Xalapazco,* puesto que concuerda muy bien con la posición que tienen, como ya dijimos, muchos de los cráteres-lagos.

Así pues, tenemos tres palabras que el Sr. Aguilera ha querido introducir en nuestro vocabulario geológico y que son: *Apazco,* que servirá para indicar toda cavidad embudiforme de cualquier naturaleza que sea; *Xalapazco,* con que llamaremos á los cráteres de explosión, hechos generalmente de tobas, y *Axalapazco* á los cráteres-lagos, también formados por explosión; por lo tanto, *Axalapazco* es equivalente á la palabra *maar.*

A más del nombre general de *Xalapazco* que tienen todos los cráteres de Puebla, y que, como hemos dicho, expresa muy bien la forma y naturaleza de estos cráteres, el nombre que tienen algunos de ellos es á su vez muy expresivo; así, por ejemplo, el *Axalapazco* de Alchichica, quiere decir *lugar de agua salada;* el de Alxoxuca, *lugar de agua verde;* y en efecto, las aguas de aquél son muy saladas y las de éste tienen un tinte verde azulado intenso, muy hermoso.

Algunas veces los habitantes de los llanos de Puebla distinguen los *Xalapazcos* por su tamaño ó profundidad. Así, por ejemplo, los *Xalapazcos* que se encuentran en las inmediaciones de la Hacienda de ese nombre, á 9

kilómetros al N.W. de San Andrés Chalchicomula, se llaman *Xalapazco Grande* y *Xalapazco Chico,* en alusión á su diferente diámetro. Aquellos que se hallan al Sur de Tepeyahualco, que tienen un gran diámetro, pero muy poca profundidad, los llaman *Xalapazquillos.*

Los *Xalapazcos* de los llanos de Puebla están diseminados por grupos, á distancias no muy considerables entre sí, como se muestra en el croquis, Lám. XXI, y para conveniencia, los describiremos según su agrupamiento natural. Los grupos de cráteres son: el de Techachalco, compuesto de los cuatro axalapazcos: *Alchichica, Quechulac, Atexcaqui* y *La Preciosa;* el de Alxoxuca, compuesto de dos axalapazcos muy próximos: el de Alxoxuca y el de Tecuitlapa; el tercer grupo lo forman los *Xalapazcos Grande* y *Chico,* y por último, el cuarto grupo, que es el de los *Xalapazquillos,* al lado del cual describiremos próximamente los importantísimos cráteres de la Sierra Blanca.

Damos á continuación, Lám. XXII, el perfil comparativo de los diámetros y alturas de todos estos cráteres, así como su profundidad ó la del nivel de sus aguas, referido á un solo plano de comparación.

Siendo petrográfica y químicamente muy semejante el material cinerítico de estos cráteres, haremos una sola vez el estudio de este material, así como hablaremos en conjunto de las aguas que contienen los axalapazcos.

Hay tal semejanza en la posición relativa, naturaleza y forma en todos los cráteres de explosión, que hemos visto descritos en la literatura vulcanológica, que más de una vez hemos quedado sorprendidos de los múltiples puntos de contacto que entre ellos existen, y tal parece que su formación se realiza en condiciones muy pareci-

das, en lugares del mundo muy distantes. Lo que más varía es la clase de rocas que las explosiones han perforado.

Para cerciorarse de las semejanzas que existen entre los cráteres de explosión, bastaría seguir y familiarizarse con las descripciones de este tipo de volcanes. Por ejemplo, las maaras del Eiffel, los embriones de volcanes del Schwabischen Alb, algunos de los cráteres de l'Auvergne y el Mont d'Or, los numerosos cráteres-lagos de la Italia central y meridional, tales como los de las faldas del volcán Laziale, cerca de Roma, el lago de Bolsena, el cráter de Vibara, los de Montecchio en el Monte Vulture y los famosos de los campos Flégreos, cerca de Nápoles; las calderas de Palma y Banadana en las Canarias, algunos cráteres de las pequeñas islas del grupo de Hawaii, los restos de antiguos conos de tobas de explosión en la parte central de Escocia, numerosos cráteres de las mesetas de Utah, etc., etc., y por último, en nuestro país los volcanes de Santiago, los de Xico, las Calderas en el Valle de México, el cráter-lago de Tacámbaro, etc.[1]

LOS AXALAPAZCOS DE TECHACHALCO.

La posición relativa de los cuatro axalapazcos que forman este grupo, queda indicada en el plano de la Sierra de Techachalco, que publicamos en la primera parte[2] y en el que se verá que dos de estos cráteres se hallan respectivamente en los extremos Norte y Sur de dicha

1 En nuestro estudio de los volcanes de Valle de Santiago, *Mem. Soc. Alzate.* T. XIV, habíamos visto un cráter de explosión cerca de Apazco, el que es en realidad un simple hundimiento.

2 Núm. 9 de Parergones.

Sierra y un tercero en el extremo de uno de sus contrafuertes. En cuanto al cuarto no muestra aparentemente ninguna conexión con esta sierra ni con las otras sierras de los llanos, por estar separado de ellas por llanura. Sin embargo, no dista más que unos cuantos kilómetros de la base de la Sierra del Citlaltepetl.

Este grupo de cráteres es de los más interesantes de la región á causa de la probable simultaneidad de sus explosiones y de las condiciones particulares de su formación.

AXALAPAZCO DE ALCHICHICA.

El axalapazco de Alchichica es uno de los más grandes del grupo. Su forma tiende á la de un círculo, y su diámetro tiene cerca de 1,880 metros. Por el lado oriental, sus bordes apenas se levantan sobre la llanura, pero se elevan gradualmente al Norte y Sur, y terminan al Oeste, en una gran cresta de 100 metros de altura sobre las aguas. Las últimas lomas del extremo septentrional de la Sierra de Techachalco, llegan casi hasta los bordes de la laguna, pero las pizarras con diques de rocas verdes que forman aquellas lomas, no aparecen en los bordes por estar cubiertas por las tobas de la explosión. Entre las aguas del lago (que tienen como las de los otros cráteres, un intenso color azul verdoso), y las paredes del cráter, se extienden angostas playas que se prolongan en plano debidamente inclinado debajo del nivel del agua. En los veinte metros de altura que tienen las paredes orientales, las capas de tobas grises, intercaladas de capitas de ceniza suelta, de lapilli y de pómez, se ven casi horizontales ó con muy débil pendiente, tanto hacia el interior, como hacia el exterior. Unas veces las

capas se ven claramente separadas, otras la estratificación es muy imperfecta y producen una pendiente más uniforme, no tan escalonada como en los otros cráteres de este grupo. En el cráter de Alchichica no se encuentran otras capas que las del material de color gris, producido por la explosión á causa de la débil profundidad accesible á la observación, pues que las playas del lago están muy poco abajo de las llanuras inmediatas, lo que hace suponer que la cavidad se formó en su mayor parte en un terreno casi plano. Solamente al Oeste, coincidiendo con la mayor elevación de los bordes, se descubre, hasta un poco más arriba de la mitad de la altura de los taludes interiores, una masa de basalto y brechas de lapilli que existía antes de la formación del cráter, y que la erosión ha descubierto, puesto que las tobas la envuelven, adaptándose á todas sus sinuosidades. El pequeño macizo basáltico se ha descubierto por erosión, Lámina XXIII, en los lugares de fuerte pendiente, y de él partía una pequeña corriente de lava que fué en parte volada por la explosión; los fragmentos de esta roca se encuentran por todas partes, entre los materiales de la explosión.

Se encuentran igualmente empotrados entre las capas rudamente estratificadas de tobas, rocas de la formación de la Sierra de Techachalco, tales como pedazos de pizarras y calizas, y de la roca verde que viene en diques, en las lomas inmediatas al cráter.

En el corte que ha formado la erosión, donde el basalto se descubre, las tobas forman costra sobre los pequeños cantiles de basalto ó de aglomerados de lapilli, y esta costra se engruesa poco á poco, por nueva sucesión de capas hacia los bordes del cráter, formando escalones

que se advierten desde alguna distancia. Si cerca del fondo, sobre las aguas del lago, en el borde oriental, las capas de tobas están en posición casi horizontal, indicando que su depósito se hizo sobre una superficie casi plana, en el lado occidental las capas tienen su doble pendiente muy fuerte, debido al mayor número de capas sobrepuestas, además de haber cubierto una protuberancia del suelo.

En el talud exterior del axalapazco, por el lado occidental, una sola capa lisa, igualmente inclinada que el talud, se extiende en grandes tramos, cortada por numerosos surcos y angostas barrancas, que parten de los bordes, las que sin ramificaciones, mueren en la enorme base de muy débil pendiente, que desaparece insensiblemente en los vastos llanos del Salado.

El dibujo dará una idea (fig. 3) del aspecto general de este gran cráter, y el fotograbado una representación fiel de sus bordes occidentales, mostrando los desgarramientos que las tobas han sufrido por erosión, dejando á descubierto la antigua loma de basalto.

Fig. 3.—Alchichica.

AXALAPAZCO DE ATEXCAQUI.

El axalapazco de Atexcaqui es el más grandioso é instructivo de este grupo. Está situado al pie N. del más septentrional de los cerros de las Derrumbadas, y en el

extremo S.W. de la Sierra de Techachalco. En la vista de una de las Derrumbadas que se ha dado en la primera parte, se puede ver parte del talud exterior del cono truncado que encierra esta vasta cavidad, regularmente surcado por incisiones radiantes, profundas y muy próximas, efecto de las aguas atmosféricas sobre el material deleznable de que está formado.

Los bordes de este interesante axalapazco son también de altura muy desigual y sus taludes interiores están muy escarpados, lo que obliga, cuando se quiere llegar al nivel de las aguas, á abordarlo primero por el flanco oriental y seguir después el amplio camino que se ha practicado desarrollando una gran curva y con tramos en zig-zag.

Tan pronto como se asciende el cono por el flanco exterior, que se levanta en un terreno desolado y triste, el espectáculo cambia súbitamente al abarcar de un solo golpe de vista una amplia y profunda cavidad, de forma casi cuadrangular, encerrada entre paredes abruptas, surcadas y menudamente escalonadas horizontalmente. El fondo está cubierto por aguas de un color azul verdoso intenso, que lamen en parte bajos paredones, casi á pico. Solamente al Suroeste una angosta playa permite abordar cómodamente las orillas del gran lago, cuya playa invaden con frecuencia grandes rebaños cabríos. La vegetación es muy pobre y raquítica, excepto en los rincones de la parte baja, hacia el Suroeste, donde hay algunos árboles.

Como se ve en nuestro plano de la Sierra de Techachalco, el cráter se halla situado realmente en el flanco de un pequeño cerro, cuya altura no pasa de 150 metros sobre el terreno vecino; dicho cerro se liga con las lomas

que componen el extremo de la sierra mencionada, y está constituído en su totalidad de los mismos materiales, es decir, de calizas y de pizarras satinadas, verdosas, de edad no conocida, atravesadas por diques.

El contorno de la superficie que ocupan las aguas en el fondo, reproducen la figura cuadrangular de los bordes de este cráter. Su mayor longitud, de Este á Oeste, y de borde á borde, es de 1,200 metros, y sobre la misma dirección, la mayor longitud del lago es de 720 metros. La menor distancia entre los bordes opuestos es de 880 metros y la menor distancia de las riberas opuestas del lago es de 360 metros.

En todos los axalapazcos, el nivel de los lagos representa el de las aguas freáticas de toda la llanura, cuyo nivel es, en general, poco profundo con respecto á la superficie actual del terreno, un poco más elevada hoy, por la cubierta de materiales pulverulentos de las explosiones.

No es de extrañar, pues, que habiéndose abierto las chimeneas de explosión en la misma llanura, al pie de eminencias existentes, los niveles de las aguas se encuentren muy concordantes entre sí.

Dicho nivel está, por término medio, á 2,400 metros sobre el nivel del mar.[1]

El punto más elevado del axalapazco de Atexcaqui, es un pico situado al N.W., á 170 metros próximamente sobre las aguas; el borde más bajo se halla solamente á 100 metros.

---

1 Nuestra altura del nivel de las aguas de estos lagos difiere muy poco de la determinada por Saussure que es de 2406 metros. (*Coup d'œil sur l'Hydrologie du Mexique*. Extrait des Mémoires de la Société de Géographie de Genève. Genève, 1862.)

Excepto en las paredes N. W. y W. del cráter, que corresponden á la parte más elevada de los bordes, se pueden notar en el resto tres partes que se distinguen claramente por la forma de los taludes que producen, por el color, y por la estructura, las cuales consisten de materiales diferentes. La parte más profunda acantilada, bañada en parte por las aguas del lago, es un banco de lava dura, basáltica, con partimiento imperfectamente columnar. Estas paredes se elevan sólo algunos metros arriba de las aguas, y su límite superior es casi horizontal, lo que causa inmediatamente la impresión de que estas rocas forman parte de una corriente de lava que ha sido perforada por la explosión, sin que hayan sufrido las paredes cambio alguno de posición. La segunda parte de las paredes internas del cráter, que apoyan directamente sobre esta lava, consisten de una toba pomosa de color amarillento, deleznable, extendida en gruesas capas, en posición casi horizontal. Son bastante duras algunas, y no forman realmente taludes, sino paredes; tienen en total un espesor superior al del anillo visible de lava que sobresale de las aguas. Es muy importante notar que estas tobas son exactamente iguales á las que se encuentran á poca profundidad en el terreno que rodea el exterior del cono, y cuya superficie, débilmente inclinada, se extiende hasta la base de los cerros inmediatos.

Las tobas pomosas del interior del cráter formaban, pues, parte del terreno de rápida sedimentación, que cubría toda la llanura antes de la explosión que produjo la cavidad, y son el resultado del acarreo del material cinerítico, arrojado por algún volcán *andesítico* de los que se encuentran en las inmediaciones. Estas capas

fueron perforadas por la explosión, de la misma manera que la corriente de basalto que cubren, pues la altura que tiene el límite superior de estas capas, en el cráter, es la misma que la que tienen en la base externa del cono.

Consideremos, por último, la parte superior de los taludes interiores de la cavidad, la más importante por su espesor, porque constituye por sí sola todo lo que se levanta el cráter del nivel medio del terreno en el exterior, y es el material fruto de la explosión, acumulado alrededor del orificio. Este material se encuentra en forma de lechos, sensiblemente estratificados, con espesor que varía entre unos cuantos centímetros, hasta sesenta. Estas capas tienen posición *cuacuaversal*, es decir, la doble pendiente correspondiente á los taludes interior y exterior.

El echado externo de las capas corresponde, en muchas partes, al de la pendiente relativamente fuerte del cono, mientras que en el interior, sólo en la parte superior, cerca de los bordes, la superficie lisa y uniforme, acusa que la pendiente es la de las capas; cerca de su límite inferior, dichas capas están cortadas por erosión, en gradas ó escalones numerosos, como se ven en la lámina XXIV.

Los materiales pulverulentos que constituyen estas capas, varían un poco de consistencia. Una toba de color gris claro ó blanquizco, es la más abundante y forma las capas más gruesas. Entre ellas se intercalan capitas de lapilli, de arena basáltica volcánica, de aglomerados finos de pómez y de ceniza enteramente incoherente que suele venir también en nidos. En la masa de todos estos materiales, pero especialmente de las tobas, se encuen-

tran, con gran profusión, pedazos de basalto de todos tamaños, esquinados é informes, muy raras veces redondeados, con costras partidas y torcidas como en las bombas volcánicas. Estos grandes pedazos de basalto contribuyen mucho al trabajo de destrucción de las capas, una vez que han comenzado á desagregarse por los agentes atmosféricos. Más diseminados aún, y de menor tamaño, se encuentran pedazos de otras rocas, tales como de pizarras, que después del basalto son los más frecuentes; fragmentos de calizas compactas, á veces metamorfizados en mármol y conteniendo cristalitos de granate, vesuvianita y epidota; fragmentos de diorita, rocas verdes andesíticas y porfiríticas, y raros cantos rodados de andesitas semejantes á los de la Sierra del Citlaltepetl. La procedencia de aquellas rocas no es difícil de explicarse, porque se encuentran *in situ* en las paredes acantiladas del borde N.W. del cráter. Se comprende, desde luego, que los materiales en fragmentos han sido arrancados, durante la explosión, de rocas que existían en el lugar mismo donde se verificó; y que lanzados al mismo tiempo que el polvo, se dispersaban alrededor del orificio, sin ocupar posición determinada en relación con su volumen ó densidades.

En efecto, las pizarras y calizas apizarradas de la formación de la Sierra de Techachalco, asoman al pie del borde más elevado del cráter, y siguen debajo del nivel de las aguas. Dichas rocas, formando una eminencia de altura comparable á la de las lomas muy desgastadas por erosión, de los extremos de dicha sierra, forman varios pliegues muy unidos, que se indican aproximadamente en el esquema (Lám. XXV). Las calizas están, en parte, metamorfizadas y la formación está atravesada

por diques de rocas dioríticas, semejantes á los que ya hemos descrito al hablar de la sierra. Como este pequeño afloramiento de pizarras cae en pared muy abrupta hacia el fondo del cráter, presumimos que la explosión arrancó parte del afloramiento, y otra parte se ha derrumbado posteriormente, lo que ha motivado el corte en paredes verticales de la cubierta de tobas, como se ve en la misma lámina, la que da una idea muy clara de la forma que tuvo el afloramiento de las pizarras antes de la explosión, puesto que no muestra indicios de haberse movido de alguna manera, pero ni siquiera de haberse fracturado.

Pegado al flanco meridional de la loma de pizarras, se encuentra un pequeño macizo de basalto que se prolonga hacia el S.E., E. y N., constituyendo el anillo de lavas de que hemos hablado; es decir, que la masa basáltica, de forma irregular y elevada, se transforma en una cubierta de lava que escurrió sobre una superficie más plana. Como el macizo de basalto está, en partes, cubierto de aglomerados de lapilli, bien puede ser que dicho macizo forme parte de un pequeño cráter, y cuyos restos no podemos ver por estar ocultos debajo de las tobas. En la parte más alta el basalto sólo está cubierto por las tobas de explosión; éstas cubren sin interrupción, y siguen las sinuosidades del terreno, tanto de la lava como de las pizarras. En fin, á una altura menor, comienzan á aparecer las tobas amarillas, con la posición y los caracteres que antes hemos indicado, cubriendo el antiguo terreno de pizarras y basaltos; y por último, el todo se corona por las capas de tobas grises que fueron engendradas por la explosión, las que reproducen todas las si-

nuosidades de la superficie sobre que apoyan aún en los lugares donde ya existía una fuerte pendiente.

Así, pues, la explosión que dió nacimiento al cráter de Atexcaqui, tuvo lugar en el flanco de un pequeño cerro, constituído de pizarras de basalto y de tobas amarillas postpliocenas. No produjo movimientos en estas rocas, abriendo la explosión un conducto en forma de tubo.

La condición de abrirse tubos en flancos de colinas ó montañas existentes de antemano, es muy frecuente y no tiene nada de anormal; el lago Pavin de la Auvernia está en el flanco del cerro basáltico de Chalme, en Nassibe; en Madagascar, dice Velain, grupos de cráteres-lagos se encuentran en el flanco ó al pie de conos volcánicos. El cráter-lago de Montecchio se halla en las faldas del Monte Vulture (De Lorenzo). En las faldas del Monte Laziali, en la campiña romana, existen varios cráteres-lagos: Albano, Nemi, etc. (Sabatini). En la preciosa descripción de De Lorenzo, del cráter de Astroni, vemos que en las paredes del cráter existe una masa de roca *(La Capraza)*, que existía ya antes de la formación del cráter.

Axalapazco de la Preciosa.—Como se podrá ver en el plano, el axalapazco de la Preciosa es de forma muy irregular, no tiene el contorno circular ó elíptico de muchos de nuestros cráteres de explosión, sino que más bien su forma se aproxima á la de un triángulo, cuyo lado mayor, orientado de N.E. á S.W., mide cerca de 1,800 metros. Una gran extensión de los bordes está muy poco elevada sobre la llanura (fig. 4), y con una pendiente exterior apenas sensible. Solamente por el lado N.W. hay una cresta encorvada con altura hasta de 50 metros, constituída de capas doblemente inclinadas de tobas gri-

ses, con superficie escalonada por la erosión, y con pendientes fuertes que se levantan, en parte, desde las aguas del lago.

Fig. 4.—La Preciosa.

A la verdad, todo el contorno del axalapazco está formado de los materiales cineríticos arrojados en la explosión, y aunque un estribo bajo de la Sierra de Techachalco casi llega hasta los bordes del lago, el material acumulado impide ver las pizarras y calizas ó las rocas intrusivas que componen dicha sierra.

En los bordes elevados del cráter, la inclinación de las cubiertas de tobas es, como decimos, fuerte, pero va disminuyendo paulatinamente hasta adquirir una posición casi horizontal en las partes más bajas del borde, que sólo tienen de 6 á 8 metros de altura sobre el nivel de las aguas. En los bordes altos del axalapazco, las capas doblemente inclinadas de tobas no difieren de una manera apreciable, ni en color, compacidad ó naturaleza, de las de los otros axalapazcos de la región; y contienen, como en todas, fragmentos de pizarras, de calizas, de rocas verdes intrusivas y basaltos; pero en donde las tobas tienen la posición casi horizontal, ó sea en más de la mitad del perímetro del cráter, dichas capas de tobas están penetradas y endurecidas, ó bien simplemente revestidas por carbonato de cal. Su color blanco resalta mucho del color gris original de las tobas, y del color in-

tensamente azul de las aguas del lago (frecuentemente muy agitadas por los vientos arrasantes que soplan habitualmente en la llanura). La lámina XXVI muestra los bordes rebajados del axalapazco de la Preciosa, muy diversos de los bordes de los otros cráteres que ya hemos descrito y de los otros de que vamos á hablar, tanto por la insignificante altura de dichos bordes, como por lo muy dentellado y sinuoso del contorno; efecto de la erosión sobre las tobas endurecidas por las calizas de incrustación que han depositado allí las aguas muy saladas del lago.

Buscando el origen de la forma irregular de este axalapazco y de la extraordinaria desigualdad de sus bordes, teniendo en cuenta la circunstancia de que la cavidad se ha formado en una superficie plana, es preciso suponer que no sólo la erosión ha sido la causa de estas irregularidades, sino que también han intervenido fenómenos, durante la explosión, que no son comunes, al menos en intensidad, á los otros cráteres de que tratamos. En efecto, la acumulación de las tobas de la explosión en el borde W. y N.W. de la cavidad, debe haberse originado por una inclinación natural del tubo de erupción hacia esta dirección. Por otra parte, es probable que también los vientos hayan contribuído. Aunque no es posible distinguir más que una sola serie de capas concordantes, compuestas de material cinerítico, quizá la forma irregular y los estrangulamientos que presenta el axalapazco hayan sido determinados por dos ó más explosiones, causadas en puntos muy próximos y casi simultáneas. En uno ú otro caso, hay lugar á sostener la idea de una inclinación del conducto de la explosión, puesto que hacia el lado de la mayor acumulación de las

tobas hay una saliente en el contorno del cráter, que forma un vértice de la figura triangular que rudamente afecta la superficie del lago.

La presencia de la toba caliza á un nivel superior al que tienen actualmente las aguas del lago, permite asegurar que éstas han llegado á cubrir casi hasta los bordes más bajos del axalapazco. Es, pues, indudable, que la erosión ha quitado una gran cantidad de material, diseminado hoy en una grande extensión de la llanura. En el pasado, las aguas deben haber sido mucho más saladas y haber contenido, en disolución, mayor cantidad de carbonato de cal, puesto que esas mismas aguas no pueden hoy producir un depósito calcáreo abundante. Probablemente, además de las aguas que por infiltración se acumulan en el fondo de la cavidad, que es profunda (cerca de 90 m., según informes que nos han sido suministrados), debe haber sido también alimentada por algún manantial de agua termal.

Axalapazco de Quecholac.[1]—Se encuentra aislado en la llanura que se extiende entre la Sierra de Techachalco y la gran Sierra del Citlaltepetl, cuyas faldas sólo distan unos dos kilómetros, y en las que se ve un cono volcánico muy bien formado. A muy poca distancia del borde N. del axalapazco, hay también una corriente de basalto, coronada por un pequeño cono.

Como el de la Preciosa, el cráter de Quecholac es más bien una cavidad hecha en el suelo, casi sin elevación. Le rodea un anillo de tobas, que se ven en las paredes interiores formando capas no bien estratificadas, poco

1 Quecholac, según Peñafiel, "Nomenclatura Geográfica de México," significa agua de los "Quechulli" ó pájaros de pluma rica.

consistentes y con taludes poco escalonados debido á su poca consistencia. La forma general del axalapazco es elíptica, con un diámetro mayor de cerca de 1,200 metros, y con un diámetro menor de 800 metros. La mayor altura de las paredes interiores no excede de 50 metros, y la menor es sólo de 25 metros por el lado occidental, en cuyo borde se encuentra el pueblo de Quecholac.

Como en los otros axalapazcos, las tobas grises, únicas que componen las paredes, contienen intercalaciones de capitas de ceniza negra suelta, de lapilli y de pómez. En la masa de las tobas hay pocos fragmentos de calizas y pizarras, lo que es natural, puesto que este cráter no tiene ya conexión con la Sierra de Techachalco; en cambio, abundan fragmentos grandes de basalto y numerosos cantos rodados de andesitas, semejantes á las de la Sierra del Citlaltepetl. Es probable que los fragmentos de basalto hayan sido tomados de la corriente que hemos citado, al N. del axalapazco y que haya roto, en parte, la explosión; los guijaros de andesita han sido tomados de los lechos de aluviones y tobas pomosas andesíticas que se encuentran en el subsuelo de la llanura, como lo hemos visto en los axalapazcos de Alxoxuca.

Los taludes interiores del cráter de Quecholac se prolongan debajo de las aguas; de modo que el cráter tiene la forma de un embudo. No existen, por lo tanto, playas extensas entre el límite del agua y los taludes; pero gruesos y tupidos tulares forman alrededor una auréola verdosa, que produce un contraste fuerte con la completa desnudez de los taludes cubiertos de polvo. (Lámina XXVII.)

LOS AXALAPAZCOS DE ALXOXUCA.

El material de las explosiones, acumulado alrededor de los cuatro axalapazcos que acabamos de describir, no tiene, como hemos visto, ningún lazo de parentesco con las rocas que constituyen el gran macizo á cuyo pie se han abierto; tampoco tienen, con él, una relación tectónica manifiesta. Ambas cosas se ven realizadas, con frecuencia, en los grupos de cráteres de explosión (Eiffel, Alb, Faifa, etc., etc.). Del mismo modo hay grupos de axalapazcos que se han formado en íntima conexión con formaciones volcánicas preexistentes, y este es, probablemente, el caso más común: como los cráteres de explosión de la Auvernia, casi todos los de la Italia Meridional, los del Valle de Santiago, etc., etc., y también los axalapazcos que vamos á estudiar, situados en las inmediaciones del pueblo de Alxoxuca, á 18 kilómetros al N.W. de San Andrés Chalchicomula. Estos cráteres se han abierto en las faldas ó al pie de volcanes con conos pequeños muy bien formados, construídos con *tezontle* y lapilli, y soportados por corrientes de lavas basálticas formando pequeñas mesetas casi aisladas en medio de los llanos ó cuenca de Chalchicomula, cuya situación, con respecto á las otras cuencas que entran formando parte de los llanos del centro de Puebla, hemos indicado ya en otra parte.

Como construcciones aisladas, los axalapazcos no parecen tener otra importancia, en vista de lo efímero de la causa que los produce, que la revelación de una acción volcánica que parte de una débil profundidad del suelo, y la propiedad que tienen los gases y vapores allí elaborados, de practicarse un camino al exterior, con la

forma de un tubo ó chimenea. Pero cuando se relacionan estos aparatos con los grandes macizos volcánicos que no lejos de ellos se encuentran, entonces se reconoce el verdadero papel que desempeñan. No se podrá desconocer que los axalapazcos de que tratamos no son construcciones aisladas, como parecería indicarlo su situación aparentemente accidental, sino que la fuente que los engendra está en relación, más ó menos directa, con el foco donde se han engendrado las grandes erupciones, con cuyos productos se han construído algunos de los gigantescos volcanes, mucho más viejos, en verdad, que á no grandes distancias se encuentran.

Hasta donde puede, la acción volcánica, que se manifiesta con gran persistencia, primero en un punto de la superficie terrestre, extender poco á poco sus raíces y multiplicarse, es cosa que en el centro de México sería difícil precisar, á causa de la proximidad de tantos grandes macizos que se modifican con la edad, fabricados con materiales de naturaleza semejante; pero un gran macizo, considerado independientemente, lleva siempre su séquito de pequeños volcanes; individuos degenerados en que se resuelve la manifestación volcánica, cuando en lugar de concentrarse en un solo punto, como al principio, se multiplica con el transcurso del tiempo.

Los axalapazcos de Techachalco no distan mucho, sólo unos cuantos kilómetros de la Sierra del Citlaltepetl, y están relativamente cerca del Cofre de Perote. Los axalapazcos de Alxoxuca y xalapazcos de Chalchicomula, poco se separan de las faldas del Pico de Orizaba, de cuya majestad se disfruta, como complemento grandioso, en el paisaje que encuadra á estos axalapazcos.

Dejemos para un estudio general estas consideracio-

nes, y volvamos á la descripción de los axalapazcos de Alxoxuca, que tienen una construcción un poco diversa de las de los cráteres-lagos anteriormente descritos.

Los axalapazcos que, para simplificar, hemos llamado de Alxoxuca, son dos, orientados casi de N. á S., y distantes uno de otro 3,500 metros; el cráter meridional se llama propiamente de Alxoxuca, nombre del pequeño pueblo situado muy cerca de los bordes septentrionales; el otro se llama Tecuitlapa, por hallarse ubicado entre la hacienda y el pueblo de San Miguel Tecuitlapa. Cada uno de estos cráteres es vecino de un pequeño volcán muy joven: el de Tecuitlapa está al pie del volcán ó cerro del Malpaís, llamado así por la corriente de lava muy reciente arrojada de la cima, por un pequeño cráter; el de Alxoxuca está en el flanco de un grupo de tres conos, casi alineados de E. á W., con cráteres más ó menos bien formados y descansando sobre una base común en forma de meseta, como se representa en el plano (Lám. XXVIII), la cual ha resultado de la sobreposición de varias corrientes de lava que han aparecido en diversas épocas, puesto que están separadas entre sí por depósitos de tobas pomosas amarillentas, de origen torrencial, semejantes á las que se extienden en casi toda la superficie de los Llanos, y que no pertenecen á los productos de los cráteres de explosión basálticos, sino á erupciones explosivas de volcanes andesíticos, y muy probablemente de las últimas erupciones del Pico de Orizaba. La corriente superior de la meseta, por estar cubierta de tobas, no afecta la forma de malpaís más que en sus bordes donde está la lava desnuda por la erosión. La corriente de lava más joven, salida del cráter más próximo del axalapazco, es de muy pequeña extensión

y se encuentra descubierta, formando un banco de espesor considerable.

Los antiguos indios mexicanos, moradores de esta comarca, han construído sobre esta meseta, un poco alargada al N., las tumbas de sus antecesores, reconocidas por numerosos pequeños montículos, cónicos ó piramidales; llaman la atención, por su tamaño, los que se encuentran en la parte N. de la meseta. Idolos, cuentas y otros artefactos de su industria, han sido hallados, con profusión, aun fuera de los montículos, en la tierra arable que cubre la fértil llanura que rodea los diminutos volcanes, y en la que no sólo se encuentran los ya citados conos, sino otros varios igualmente pequeños, tales como los de Zimatepec, al N.E. de Alxoxuca; los pequeños conos rebajados, al S.W., en el extremo de una cresta baja sedimentaria, parecida á la de Techachalco, y por último los xalapazcos, gemelos ó cráteres secos al Oriente. Todos estos volcanes, como se ve en nuestro plano, caben dentro de una superficie menor de 80 kilómetros cuadrados.

El volcancito del malpaís no descansa por todas partes sobre una meseta, sino que tiene, desde su base, la forma cónica, de pendiente suave; de la cúspide del cono se levanta el modernísimo cráter por donde brotó el extenso malpaís, bifurcado en dos ramas desiguales, desde donde la lava, al escurrir, encontró un caballete ó cresta alargada, en cuyo extremo se ve un muro acantilado, "La Peña del Gavilán."

El extremo de una de las ramas del malpaís llega hasta la base del borde occidental del axalapazco de Tecuitlapa, y aun fué desviada de su camino la lava, por esta repentina elevación. Así, pues, el gran axalapazco esta-

ba ya formado, y el malpaís escurrió sobre los productos de la explosión de ese cráter, como se puede observar sin gran trabajo.

¿Cómo explicarse que la lava, en lugar de seguir un conducto ya abierto por una explosión, haya brotado por un viejo conducto, cuya boca está á mayor altura que la del tubo de explosión? El centro de estos dos puntos de erupción no dista más de 4 kilómetros. La causa aparente no parece difícil de encontrarse, porque el fondo del axalapazco de Tecuitlapa está ocupado por un doma de lava y por pequeños cráteres de *tezontle*, lapilli y numerosas bombas basálticas; así, pues, el conducto se hallaba obstruído por un tapón resistente de lava.

El cerro del malpaís está ligado, por el S.W., con una arista poco elevada, desarrollada en forma de semicírculo y de bastante longitud para circunscribir, con el resto de las elevaciones que rodean á Alxoxuca, una hondonada, abierta solamente al N.E. y al S.

Aquella arista tiene la forma de media luna, como la Sierra de Techachalco, y como ella, está construída con pizarras y calizas, cuyos pedazos hemos encontrado aquí también, en las tobas de los axalapazcos. Dicha arista, baja, aguda y desnuda, no es más que un restante de una sierra importante que ha disecado extraordinariamente la erosión; no tiene masas grandes de rocas intrusivas que hayan ofrecido una mayor resistencia á la denudación, como la Sierra de Techachalco, pero sí muestra, como esta última, grandes pliegues descabezados.

La semejanza entre ambas sierras es completa; las rocas son análogas, con parecidos accidentes tectónicos, seguramente contemporáneos. Es muy curiosa, también, la posición idéntica de volcanes pequeños, situados en

sus extremos, indicando que puede haber para ello una razón tectónica, que nosotros no podremos descubrir sino después de un estudio más profundo de la localidad.

Fuera de este esqueleto de sierra sedimentaria, apenas escapado de la destrucción, que revela tan bien su antigüedad; de las corrientes de basalto y sus cráteres, y de los axalapazcos, no hay más que ver, en toda la región, que las capas uniformemente extendidas de tobas pulverulentas, pomosas, amarillas, andesíticas, alternando, cerca de la superficie, con las capas de tobas basálticas, formadas con los productos de los cráteres de explosión. Pequeños cortes, mostrando esta sucesión de capas, se pueden ver á lo largo del camino entre Alxoxuca y la hacienda de Tecuitlapa, de cuyos cortes damos una idea en la lám. XXIX, que hemos fotografiado con la mira de dar una idea de una serie de ondulaciones, á manera de pequeños pliegues, que tienen allí las capas de tobas basálticas, y que se han formado por la caída del material pulverulento en forma de lluvia acuosa, sobre una protuberancia cualquiera del suelo. En el caso de muy pequeñas ondulaciones, el fenómeno tiene una explicación muy simple: Antes de la caída de las cenizas basálticas sobre las tobas amarillentas, aun muy pulverulentas, extendidas uniformemente en la llanura, habían caído grandes bombas de basalto, que eran arrojadas al comenzar la apertura de los tubos de explosión, y que al venir de grande altura producían un ligero hundimiento, enterrándose en parte.

Inmediatamente después comenzaba la lluvia de cenizas, que al depositarse regularmente reproducían la forma del relieve existente del suelo, es decir, la parte saliente de la bomba. Más tarde, los surcos que practican

las aguas se convierten en cajones angostos, de cuyas paredes se desprenden las bombas por falta de apoyo, y entonces vemos las ondulaciones de las capas, tal como lo indica nuestra fotografía. En otros lugares, las piedras están aún en su lugar, revestidas por las capas encorvadas de tobas.

Después de estas sucintas ideas, veamos lo que enseñan los profundos axalapazcos de Alxoxuca.

Alxoxuca.—Es este uno de los axalapazcos más grandiosos del Estado de Puebla, por lo imponente y por lo abrupto de sus paredes, cortadas en muchas partes enteramente á pico. El contorno de sus bordes, claramente delineados como los de una vasija, tiene una figura ovoidal que se alarga en la dirección del N.E. La laguna que ocupa el fondo es casi de forma circular, que es realmente la forma original del cráter, porque el agrandamiento que tiene del lado N.E. se ha producido por el trabajo de excavación, practicado por las aguas, que en tiempo de lluvias bajan por una barranquilla que nace en el flanco de uno de los conos llamados de Zotoltepec. Con el material acarreado se ha formado la playa que bordea por este lado la laguna. En el resto del fondo del cráter, las aguas bañan hasta el pie de paredes verticales ó de angostos y pendientes taludes.

Por el exterior el cráter se anuncia por una amplia y muy tendida rampa, en donde se ven muy regulares las capas de tobas, echadas débilmente según esta pendiente. Este enorme cráter, incomparablemente más bello que ningún otro axalapazco de México, se ve, de ordinario, muy animado y alegre; numerosos rebaños de cabras, ovejas y caballos turban la soledad con cencerros; pastores, lavanderas, bañeros y aguadores, suben

y bajan constantemente por angostos senderos, trazados en *zig-zag*.

Los habitantes de Alxoxuca, de Atenco y de algunas rancherías, se surten de las aguas de la laguna. El pueblo de Atenco está situado casi en los bordes occidentales; el de Alxoxuca, en el borde N.; los místicos pobladores de Alxoxuca han construído, casi en la parte más alta del borde del axalapazco, un magnífico templo de altas bóvedas, desde cuya torre se domina el sacabocado tubuliforme de 190 metros de profundidad. Haciendo abstracción del agrandamiento que ha resultado por la prolongación de la barranca que baja del cono de Zotoltepec, el diámetro medio, de borde á borde, es, próximamente, de un kilómetro. La profundidad del lado de Atenco es sólo de 105 metros. Una idea de conjunto de este Axalapazco, la damos en la fig. 5.

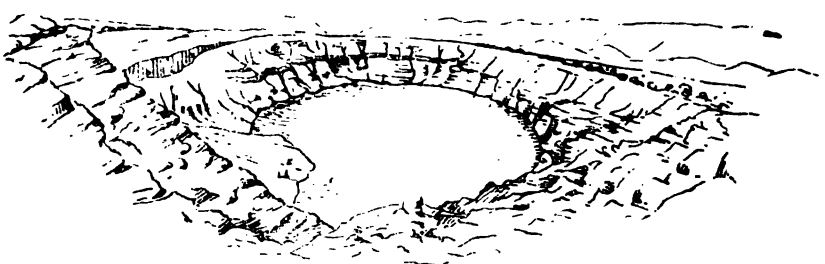


Fig. 5.—Alxoxuca.

En las paredes del axalapazco, donde se inician surcos ó incisiones regularmente espaciadas, se ven, con notable regularidad, una sucesión de bandas que marcan grupos de capas en posición casi horizontal, las que por su diferente compacidad, unas quedan enteramente verticales, y otras fuertemente inclinadas en talud. Entre estas bandas resaltan, por su color negro, y sobresalen

por su dureza, una gruesa capa de lava basáltica, dura y compacta, con tendencia á la estructura columnar, la que se reconoce, desde luego, como procedente de uno de los pequeños volcanes de Zotoltepec, y correspondiente, probablemente, á una de sus más tempranas, si no la más antigua erupción. También, intercalada en las tobas, pero á un nivel superior, se encuentra otra corriente de lava de la misma procedencia, cuya extensión no fué tan grande para cubrir toda la superficie que perforó la explosión; sólo se marca en las paredes orientales y abarcando un poco más de la mitad de la circunferencia, terminando en ambos lados en forma de cuña.

Hay que distinguir, entre las diferentes capas de tobas, aquellas que se han formado con los productos mismos de la explosión, que son los más superficiales. Se reconocen inmediatamente por su color, por los fragmentos de rocas y bombas que contienen en su masa, por las capitas de lapilli y arenas basálticas intercaladas, y por último, por su doble pendiente, aunque la inclinación hacia el interior no se reconoce mucho por el agrandamiento que ha sufrido el cráter por los derrumbes, con los que se ha llenado parte del fondo.

Las otras capas de tobas, siempre de color amarillo y muy pomosas, yacen arriba y abajo de las corrientes de lava, y son de naturaleza andesítica; contienen muy escasos fragmentos de andesitas, son muy deleznables y parecen ser formadas por rápida sedimentación; otras, son simples acumulaciones de polvo caído en forma de lluvia, ó arrastrado por torrentes.

Ya cerca del nivel de las aguas, las tobas se mezclan con aluviones, ó éstos con arenas y tobas, y se intercalan como lentes ó como capas regulares.

Uno de estos lechos, de aluvión y toba muy compacta, se puede seguir en todo el contorno, un poco arriba del agua, indicando que es una capa horizontal.

Las tobas puras, deleznables, tienen, generalmente, grande espesor, 5 á 8 metros, separadas por hilos de pómez ó de arena. Las capas de aluvión y tobas, ó de aluvión y arena, son un poco más delgadas; las tobas grises de la explosión vienen en lechos delgados, desde algunos decímetros hasta un metro.

A las corrientes de lava basáltica, cuyos cortes se ven en las paredes, debieron preceder y seguir pequeñas erupciones de cenizas finas, basálticas, que suelen encontrarse mezcladas con las otras tobas, pero esto no siempre es fácil de reconocer, á no ser por el examen microscópico.

Clasificadas las tobas tal como las hemos distinguido antes, forman tres series, con la sucesión y espesores que se les ha dado en el perfil comparativo (Lám. XXII).

Las tobas, en inmediato contacto con las corrientes de lava, han sufrido, en una angosta zona, una calcinación que las transforma en una masa dura y de intenso color rojo. Lo curioso es que esta zona de calcinación no es constante: en unas partes es muy gruesa y en otros lugares casi no existe.

La más baja corriente de lava aparece como un anillo completo, que tiene un espesor de cerca de 20 metros; la cara inferior de la corriente es muy careada, indicando que escurría sobre una superficie terrosa. La lava es muy compacta y muy desvitrificada, en el medio, y ampollosa y más vítrea en la base y hacia arriba, á causa de la diferente duración del enfriamiento.

Estas lavas, habiendo escurrido sobre una superficie

muy uniforme, tal como lo revela el plano sensiblemente horizontal, visto en corte en las paredes del cráter, dejan comprender que las tobas eran de muy reciente depósito cuando escurrió la lava, de tal modo, que no tuvieron tiempo de ser surcadas y accidentarse en la superficie por erosión; no sucede lo mismo con las capas de aluvión de la parte inferior, cuyos espesores son variables y se limitan por líneas muy sinuosas, como formando verdaderas lentes, ó sea los cortes de lechos antiguos de arroyos. Así, pues, las capas de abajo, de cerca del nivel de las aguas, se han ido formando con alguna lentitud; pero al partir de los lechos de tobas pulverulentas, sin abundancia de aluviones, el terreno, se ha elevado probablemente en la llanura, al menos en la proximidad de los grandes volcanes de la Sierra del Citlaltepetl, con una rapidez verdaderamente asombrosa.

Tecuitlapa.—Este axalapazco es de mayores dimensiones que el anterior, y de forma que tiende á la de una elipse, con un diámetro máximo de 1,500 metros, próximamente, y una profundidad media, hasta el nivel del agua, de 95 metros. Tiene, exactamente, la misma constitución que el cráter de Alxoxuca, con la simplicidad que introduce, sin embargo, su menor profundidad. Sus bordes son un poco menos desiguales, y aunque estos tocan casi por el W. la base del cerro del malpaís, la influencia de su pendiente no se hace sentir en los bordes, puesto que son más elevados al N. y al S. El trabajo de la erosión ha marcado ya en el cráter de Tecuitlapa huellas más hondas: sus paredes, en gran parte inaccesibles, se ven con surcos relativamente profundos y muy próximos, además de entalladuras horizontales numerosas (Lám. XXX). El cráter se ha ido agrandando por de-

rrumbamiento de las paredes, con cuyo material se ha rellenado el fondo, acumulándose en la base de los muros, formando un talud de débil pendiente, el que ha obligado á las aguas saladas y poco profundas á reunirse hacia un lado, bordeando á un pequeño macizo ó doma de lava y á varios diminutos cráteres que se levantan del fondo y que formaban antes un islote un poco desviado del centro geométrico del embudo. Este grupo de construcciones pequeñas, que representan la última fase local de la acción volcánica después de la explosión, dan el sello característico á este axalapazco, pues es el único cráter, de los ya descritos, que muestra una eminencia de naturaleza lávica en su interior. El dibujo adjunto muestra la posición relativa de esta postrera construcción (fig. 6).

Fig. 6.—Tecuitlapa.

Dos partes principales la componen: un cerrito casi cónico, un doma cuya altura no llega á sobrepasar los más bajos bordes del axalapazco, y una cadena de tres pequeños cráteres, tan próximos entre sí, que un mismo borde los divide, en parte. Son más pequeños que el doma, pero de los tres, el más alto es el más inmediato á éste; dos de ellos tienen sus depresiones cratéricas, muy poco profundas, pero casi completamente cerradas, mien-

tras que el más pequeño, el más occidental, está abierto en forma de herradura, y las aguas del lago penetran en él como dentro de una bahía. El cráter más grande medirá, apenas, 50 metros, y el pequeño, 25 metros. Mientras que el flanco septentrional exterior de los pequeños cráteres envía su talud fuerte, directamente al fondo ya seco del axalapazco, del lado S. se prolongan en un débil plano inclinado, ancho, que estrecha mucho el espacio cubierto de agua que separa al doma y sus cráteres de las paredes meridionales del enorme axalapazco.

Los bajos conos que soportan á los pequeños cráteres, están constituídos de un apretado aglomerado, de pedazos de *tezontle* de todos tamaños, de colores rojo y negro; ya distribuídos sin orden, ya dispuestos en capas ligeramente inclinadas alrededor de la cavidad. Aunque algunas veces los fragmentos guardan cierto orden de tamaño, lo común es que, grandes y pequeños pedazos, romos ó angulosos se mezclan irregularmente formando un todo bastante compacto. Entran igualmente en la constitución de los cráteres, un número considerable de bombas volcánicas, pedazos de lava compacta y fragmentos torcidos y estirados. El doma aparece construído, al menos en su superficie, de grandes riñones de lava maciza rodeados de fragmentos de tezontle y de una cantidad enorme de bombas volcánicas en piezas desde un volumen de dos metros cúbicos hasta del tamaño de un puño, bastante sueltas algunas para rodar hasta la base del cono, pero otras soldadas al tezontle ó á los riñones de lava como si las bombas hubieren caído cuando dicha lava estaba aún caliente y semifundida. Es muy probable que el núcleo del doma sea en gran parte de lava maciza y que las reventazones que se ven en algunos lugares

ó los riñones, sean proyecciones pedunculares de este núcleo.

Las bombas tienen la forma de bolas con superficie negra, pero más generalmente la de husos con superficie torcida y con sus costras partidas (bred-crust); su núcleo es compacto y la periferia ampollosa, aunque el caso inverso se suele también observar. Bombas de esta clase se encuentran regadas á centenares de metros afuera del axalapazco, y en los bordes del Sur hemos visto bombas de más de una tonelada de peso.[1]

Los cráteres de tezontle deben de haberse formado uno tras otro, pero muy rápidamente, por explosiones sucesivas que tenían lugar por orificios muy pequeños. A éstos siguió la formación del doma, el cual debe haber surgido por una especie de hinchamiento, como una masa que crece con más ó menos rapidez, pero por cuyos contornos con nubes de vapores, eran lanzadas á los aires numerosas piedras todavía semifundidas, de las cuales muchas caían sobre el mismo doma, adhiriéndose á su masa.

No parece haber duda de que una masa fundida con movimiento ascendente, que apenas llegó á la superficie, obstruyó el tubo ya muy estrecho por donde se verificó la explosión, y que al cabo de un largo reposo acabó por enfriarse obstruyendo de una vez la chimenea.

Lo interesante del problema de los cráteres de explosión es que estos cráteres están muy próximos y sin embargo tienen completa independencia, y no ya como aparatos simultáneos sino sucediéndose con intervalos de reposo como ha sucedido aquí con el axalapazco de Te-

1 Mezclas semejantes de bombas de todos tamaños con pedazos de tezontle y lapilli forman los "Volcancitos" del Jorullo, creados un poco después de la salida de la lava de la gran erupción de 1759.

cuitlapa y la corriente de lava del cerro del malpaís, es decir, tras de una explosión verificada por un amplio tubo, se produjo poco tiempo después, en un lugar inmediato, una erupción tranquila de lava. Esto se explica fácilmente en el supuesto de que el tubo de explosión se ha llenado con material sólido, como en efecto en el fondo podemos ver la cicatriz. Pero esta condición de una obstrucción con lava sólida no parece ser necesaria para que se formen tubos de explosión muy próximos entre sí é independientes, pues muchos de los tubos sucesivos ó simultáneos están rellenos de tobas como los cráteres destruídos que estudia Branco en la región del Alb.

Si la corriente de lava del malpaís hubiese escurrido por una mayor pendiente y en mayor cantidad, habría llegado á precipitarse en cascada dentro del axalapazco y aparecer éste como el cráter de explosión de la cañada Morelos del que ya ha dicho Böse algunas palabras.[1]

LOS XALAPAZCOS.

Réstanos, para acabar con esta descripción de cráteres, decir algunas palabras de los *Xalapazcos* (Grande y Chico), situados al Oriente de Alxoxuca, á una distancia de 6 kilómetros y que se encuentran solos en medio de la llanura, sin más eminencia próxima que la baja meseta basáltica de Zotoltepe y los volcancitos de Zimatepec al Norte, á algo más de 3 kilómetros. Desde alguna distancia no se puede presumir la existencia de estos cráteres, porque el más grande, llamado el *Xalapazco Grande*, apenas tiene bordes que sobrepasan el nivel general del terreno del lado occidental y el *Xalapazco Chico* se

1 Mem. Soc. Alzate, t. 14, 1900.

abre como en el medio de una loma tendida que la erosión no ha acabado todavía de arrasar. El *Xalapazco Chico* domina, por lo tanto, en altura al *Xalapazco Grande* en unos cuantos metros, cuya débil pendiente han utilizado las aguas para abrir pequeños surcos por donde el poco líquido va á precipitarse al interior del cráter grande, practicando en sus paredes orientales dos pequeñas abras muy estrechas.

Los bordes de estos interesantes cilindros huecos, pues tal es el nombre que más les conviene por su forma, pueden servir como el mejor observatorio para disfrutar de uno de los más grandiosos panoramas de volcanes que en México se pueden contemplar, porque sólo unos cuantos kilómetros de llanura separan á estos cráteres de los flancos del Pico de Orizaba, cuyo cono, siempre cubierto de nieve, se tiene enfrente (fig. 7 y lám. XXXI), y se ve

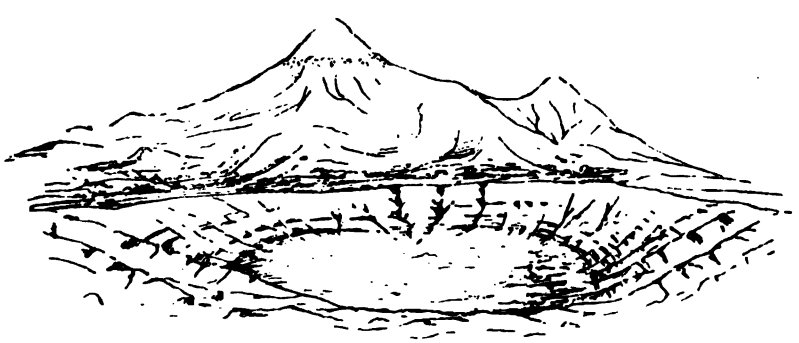


Fig. 7.—Xalapazco Grande.

tan cerca, que se pueden apreciar muy bien los taludes de escombros abajo de las nieves, interrumpidos por crestas desgarradas de lavas, por partes de corrientes destruídos; la fuerte pendiente de sus barrancas y el límite muy claro de la zona de vegetación, todavía muy tupida

en las làderas. ¿Cómo no se ha de pensar que aquel grande edificio, obra de siglos de erupción tras erupción, y estos pequeños hoyos cavados por una explosión única, no tienen una fuente común? No importa que la naturaleza de los productos que han arrojado sea algo diversa; sólo cuestión de temperatura y capacidad del foco pueden haber diferenciado. Todavía arrojaba cenizas andesíticas el Pico de Orizaba cuando explosiones formaron los *Xalapazcos*, dando una lluvia de polvo basáltico; luego si tienen una fuente común, ésta debe ser bastante profunda; pero envía largas ramificaciones que, ó se independen en el transcurso del tiempo, ó se portan en sus extremos como cosas diversas, por circunstancias locales.

Los dos *Xalapazcos* difieren poco en su diámetro, cerca de 700 metros uno y 600 metros el otro. En cuanto á su profundidad, el mayor tiene 70 metros y el menor 150 metros. Su fondo está seco, porque ninguno de los dos llega ahora á cortar las capas acuíferas de la localidad, como en el cráter de Alxoxuca, ó en el de Tecuitlapa; las aguas que aquí se juntan se infiltran prontamente y van á engrosar el volumen de aquellas capas.

Como se ve, en los perfiles de estos cráteres, el *Xalapazco Grande* tiene una sola pendiente abrupta, desde los bordes hasta el fondo, el cual se extiende en un plano poco inclinado hacia el centro, y que está aprovechado para siembras de maíz, mientras que el *Chico,* con paredes casi verticales, desciende hasta un cierto nivel, al que sigue un talud de escombros, embudiforme, que baja hasta el punto central.

La vista que adjuntamos, lám. XXXI, tomada del borde occidental del *Xalapazco Grande,* donde se levan-

tan los muros de la Hacienda de Xalapazco, da una idea de la forma de las paredes interiores del cráter, surcadas regularmente por pequeñas barrancas, se ve también que el cráter comienza donde termina la llanura que viene desde el pie de la Sierra del Citlaltepetl.

La poca profundidad y el sembrado que cubre el fondo del *Xalapazco* mayor, lo hacen poco atractivo, mientras que el chico, con sus altas paredes, su forma cilíndrica, casi perfecta, el embudo de su fondo y la vegetación de grandes y diseminados árboles, le dan un aspecto más salvaje é imponente.

La proximidad de estos dos cráteres cuyos bordes distan menos de 1 kilómetro, dejará presumir desde luego que tienen igual constitución, tal como la hemos representado en nuestros cortes.

Como en los *Axalapazcos* de Alxoxuca los materiales que forman las paredes de los *Xalapazcos*, se pueden dividir en tres clases. El grupo de capas superiores, que consiste de las tobas grises de la explosión con su doble característica inclinación. Dichas tobas contienen fragmentos de basalto y cantos rodados de andesitas hornbléndicas é hipersténicas que fueron tomadas de los aluviones que en capas con arenas y tobas se encuentran á mayor profundidad. Esta capas apoyan sobre las tobas amarillentas, pomosas, deleznables, que corresponden á los depósitos superiores, uniformemente extendidos en la llanura, y por último, en el fondo vienen las capas de tobas intercaladas de capas y lentes de aluvión, andesíticos, á las que siguen en profundidad en el *Xalapazco Chico*, otra vez capas de tobas con poco ó ningún aluvión, indicando así las series alternadas, los períodos paroxismales de los volcanes de la región. Como se ha

visto, la estructura de los *Axalapazcos* de Alxoxuca y de los *Xalapazcos,* es muy semejante, salvo la intervención del material basáltico en corrientes y doma que muestran los primeros.

LAS AGUAS DE LOS AXALAPAZCOS.

En las páginas anteriores hemos indicado la forma que tienen las paredes interiores de los *Axalapazcos,* hasta el nivel de las aguas, y ahora importa conocer de qué manera se prolongan estas paredes debajo de este nivel. Se supone, naturalmente, que los taludes sumergidos son la continuación de los taludes superiores hasta donde comienzan las masas de derrumbes que dan al fondo de los cráteres la forma de embudos. Como la importancia de estos derrumbes guarda cierta relación con la altura de los bordes, se comprende que siendo éstos muy desigualmente elevados, el punto más bajo del fondo del embudo no coincide con el centro geométrico de las grandes cavidades.

Los lagos de los *Axalapazcos,* ó lagunas, como siempre se les llama en el país, no son muy profundos. Desgraciadamente no se han recogido cuidadosamente los datos adquiridos en algunos sondeos que se han hecho. Puede decirse, sin embargo, que en ninguna de las lagunas la profundidad excede de cien metros. Se nos refiere que en La Preciosa, la profundidad mayor es de noventa metros; en la de Quecholac, noventa y cinco, y en la de Alxoxuca, sesenta y dos. En la de Tecuitlapa, la profundidad es insignificante.

En *Axalapazcos* como el de Alchichica y el de La Preciosa, que tienen en partes paredes muy poco elevadas, las playas que se interponen entre estas paredes y la

orilla, se prolongan debajo de las aguas como un plano débilmente inclinado, al que sigue bruscamente una fuerte depresión, lo que se aprecia fácilmente, examinando la diferente intensidad del color azul verdoso del líquido.

El nivel medio actual de las lagunas responde invariablemente al de la capa acuífera más superficial de las llanuras, donde se encuentran los cráteres, como puede comprobarse por la profundidad de los pozos comunes, abiertos en las casas de las pequeñas poblaciones allí diseminadas, y cuyas aguas tienen, con poca diferencia, la misma composición que las de los cráteres. Así, pues, la presencia del líquido en su fondo, sólo proviene de que dicho fondo está más bajo que el nivel de las aguas freáticas de la región. En Tecuitlapa las aguas van disminuyendo rápidamente, porque los acarreos de material, hacia el fondo, van elevando el terreno poco á poco, arriba de ese nivel. Como se ve, en nuestros perfiles, los cráteres secos ó *Xalapazcos*, tienen su fondo arriba de las capas acuíferas, es decir, arriba del nivel de las aguas del *Axalapazco* de Alxoxuca.

Entre los cráteres de una misma región, por lo que respecta á las aguas, existen las más estrechas relaciones, pues son verdaderos vasos comunicantes; las pequeñas diferencias en el nivel del líquido, que no pueden apreciarse sino con nivelaciones precisas, sólo depende de la débil inclinación de las capas del terreno.

Las aguas de todos los axalapazcos sufren oscilaciones pequeñas de nivel, de acuerdo con la mayor ó menor abundancia de las lluvias, pero estos cambios no corresponden estrictamente al régimen que determinarían las más inmediatas estaciones. Lo que más llama la atención, es que el nivel medio actual, en todas las lagunas

de los cráteres de Puebla, es más bajo que el que han tenido anteriormente. Marcas de estos niveles y concreciones calizas, se encuentran hoy á más de dos metros arriba, en las paredes de roca basáltica del cráter de Atexcaqui, y ya hemos dicho que en La Preciosa, la toba caliza concrenada sobre las capas de tobas, se hallan casi hasta el borde más bajo del cráter, lo que significa una altura de cerca de siete metros. ¿Qué causas han determinado estos cambios? no las sabemos; sería preciso estudiar más detenidamente esta cuestión, que tiene, por otra parte, un interés considerable. El tiempo nos ha faltado para esto, así como para hacer un estudio completo sobre la composición de las aguas, que están muy cargadas de compuestos salinos; por lo tanto, muy impropias para los usos domésticos. Nos reservamos para más tarde hacer mención especial de la composición de las aguas de los *Axalapazcos,* comparando nuestros análisis con los que han sido hechos anteriormente.

LOS PRODUCTOS DE LAS EXPLOSIONES.

Es indudable que las explosiones que han originado las grandes cavidades crateriformes, extremos de tubos ó chimeneas, además de los vapores y gases causa de la explosión, dieron salida á una gran cantidad de agua, que esparcida en la forma de abundante lluvia, circularía poco tiempo después en verdaderos torrentes. El líquido mezclado con los productos sólidos cineríticos, ha determinado la sedimentación de estos productos en capas regular y doblemente inclinadas alrededor de los orificios, y cubriendo el terreno inmediato, adaptándose á su relieve. La separación en capas de ese material, proce-

de: ó de un cambio en la naturaleza física de los productos dentro del corto tiempo de la erupción que sigue á la perforación del terreno en la superficie, ó á variaciones en la intensidad de la erupción, verdaderos instantes paroxismales, ó por último, á diversa cantidad del líquido mezclado á los productos sólidos que caen. Así observamos capas alternantes de ceniza fina, de ceniza gruesa, de arena volcánica, de lapilli ó de pómez; otras veces encontramos capas de la misma naturaleza física, en las que los planos de separación se reconocen por una mayor compacidad de las cenizas. En estas superficies suele conservarse la impresión de piedras, ó de arenas que sobre ellas caían, y aun frágiles cuerpos esferoidales de ceniza fina, que indican la caída de gotas de agua sobre un polvo fino, suelto y seco. De estos cuerpos esferoidales huecos, hemos tenido ejemplos en las cenizas de la última erupción del volcán de Santa María, en Guatemala, y con frecuencia los encontramos en las capas de tobas que cubren nuestros grandes volcanes.

Ya hemos indicado anteriormente cuáles son las especies de rocas que en fragmentos de diverso volumen se hallan retenidos en la masa de las capas de cenizas ó de tobas que rodean á cada cavidad, y cuyos fragmentos pertenecen siempre á las rocas inmediatamente subyacentes, nunca á rocas desconocidas en la región, ó que se suponga que vienen de gran profundidad; esto, unido á la invariabilidad en la naturaleza de los productos cineríticos de una región, plantea el más obscuro problema de los volcanes de explosión.

Así pues, en nuestros *Xalapazcos,* encontramos fragmentos de pizarras satinadas y calizas, juntamente con bombas y pedazos de basalto y trozos de rocas verdes ande-

síticas ó porfídicas, en donde las chimeneas de explosión están próximas á afloramientos de estas rocas; solamente en abundancia pedazos de basalto y cantos rodados de andesitas, en aquellos cráteres en cuyas paredes se ven corrientes perforadas de esa lava y capas de aluviones andesíticos. Menudos fragmentos y partículas de estas rocas hay siempre entre las cenizas traídas por la explosión, lo que á veces oculta su composición original. Entre los materiales pulverulentos con que están construídas las paredes de los cráteres, se distinguen á veces aquellos que fueron arrancados directamente al practicarse la perforación, de aquellos que han salido cuando ya estaba abierta la chimenea, y son los que se han acumulado al último, aumentando perceptiblemente la altura del terreno. En los cortes de nuestros *Xalapazcos* siempre hemos especificado las *tobas de la explosión,* de color invariablemente gris, muy diferentes de las tobas amarillentas, que pertenecen al terreno. Se comprende que cerca de sus contactos es difícil individualizarlas por efecto de la insensible transición. Se entiende que si la chimenea en lugar de abrirse paso al través de capas de tobas, rompe un terreno de rocas duras, su mayor volumen se reduce á fragmentos, y poco á polvo ó partículas pequeñas.

En algunos de los *Axalapazcos* de Techachalco no existen otras tobas que las grises de explosión.

Las capas de tobas de explosión son siempre de naturaleza basáltica; dichas capas más ó menos claramente definidas, varían en espesor desde unos cuantos centímetros hasta un metro; son poco consistentes y se reducen á polvo ó pedazos pequeños al más ligero golpe; su fragilidad aumenta cuando crece el tamaño de las partículas que las forman. Siempre se pueden separar en

estas tobas ó distinguir á la simple vista, granos ó pedacitos esquinados de roca negra basáltica y un polvo muy fino que forma la masa general, y que envuelve á aquellos granos, del que no pueden desembarazarse sino á fuerza de frotamiento, ó por lavado. Este polvo es, á juzgar por su naturaleza, el producto de la trituración extrema de la lava, y las tobas de cualquiera de los *Axalapazcos* antes descritos, sometidas al examen microscópico, consisten de partículas de vidrio compacto, transparente ó colorido en pardo, con inclusiones de microlitas de augita, de feldespatos calcosódicos y de granitos de óxido negro de fierro. Este vidrio es á veces globulítico, y á veces con pequeñas burbujas. Es, pues, como la pasta general de los basaltos en el polvo, igualmente esquirlas de feldespato, que aun dentro de su pequeñez muestra siempre los macles numerosos de los feldespatos básicos como el labrador, numerosos pedacitos de prismas de augita ferrífera muy verde, por transparencia y policroica y granitos verdosos de olivino, que como los de hornblenda, son más raros. No causa extrañeza que las tobas de explosión provengan de basaltos en *Xalapazcos* donde esta roca preexiste en corrientes en el terreno perforado (aunque ya dijimos que en este caso la explosión las rompe y despedaza más que pulveriza), pero sí sorprende en los cráteres donde no se descubre ni se puede presumir que lo haya habido antes de la explosión á mayor profundidad; luego la explosión puede ser el resultado de expansión de gases que estaban incorporados á lavas basálticas, fundidas, ó en vías de un enfriamiento brusco, y que serían porciones de residuos de magma de viejas cisternas, ó focos volcánicos ya muy distantes, y aun quizá independidos de esos grandes fo-

cos; es decir, los pedúnculos de lavas de que otras veces hemos hablado.

Las tobas que participan de la composición de las tobas preexistentes y de las tobas de explosión, bien reconocibles en los *axalapazcos* de Alxoxuca, se distinguen casi inmediatamente al microscopio, porque además de contener en abundancia los elementos característicos del basalto (olivino, augita y pedacitos de esta roca), con no menos abundancia se descubren la hiperstena, la hornblenda, el feldespato oligoclasa y la pómez, que son los componentes de las tobas de origen andesítico y que yacen debajo de las tobas grises, y de las tobas mezcladas en capas horizontales pertenecientes al suelo uniforme de los llanos de Puebla. Por el estudio microscópico de estas tobas, hemos logrado atestiguar que erupciones basálticas alternaron con erupciones andesíticas, pues las corrientes de basalto descubiertas en el *Axalapazco* de Aljojuca, soportan á capas de tobas andesíticas, es decir, á cenizas de volcanes del tipo del Pico de Orizaba, y tal vez procedentes de este mismo volcán, que no está muy distante y que todavía hace dos siglos mostraba alguna actividad paroxísmica.

A propósito de las tobas amarillentas andesíticas que yacen horizontalmente, y más ó menos intercaladas de aluviones de andesitas descubiertas en Tecuitlapa, Alxoxuca y en los *Xalapazcos*, repetimos que algunas capas se han formado con material de transporte por las aguas, como lo demuestra la forma redondeada de los granos de minerales y pedazos de roca; pero otras se han formado por caída directa de ceniza. En este caso las partículas angulares y cortantes son de vidrio pomoso y los minerales se ven tan frescamente rotos, que conservan aún

parte de sus formas cristalográficas, alejando enteramente la idea de una fricción. Sin embargo, la forma redondeada ó angulosa de las partículas, no puede considerarse como una prueba absolutamente concluyente del nudo de formación de las capas. En el polvo y arena fina, arrojado como lluvia por el volcán de Colima, en sus últimos paroxismos, dominaban las partículas redondeadas.

México, 1905.

INDICE

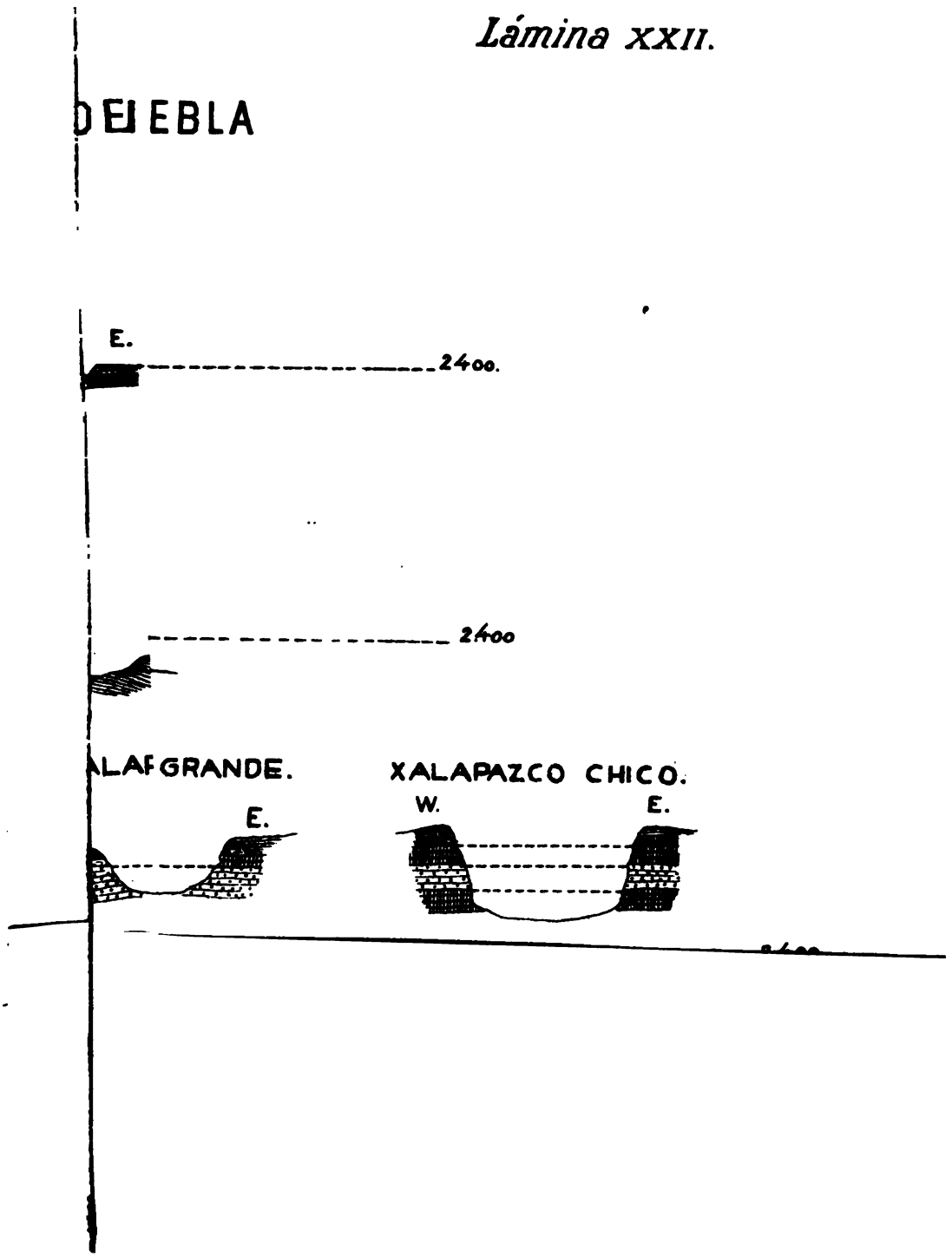
Págs.

Núm. 1.—Los temblores de Zanatepec, Oaxaca, por *E. Böse*..... 5- 19
Estado actual del volcán de Tacaná, Chiapas, por *E. Böse*. (una lámina)..... 19- 25
Núm. 2.—Fisiografía, Geología é Hidrología de los alrededores de La Paz, Baja California, por *E. Angermann* (dos láminas).. 31- 49
El área cubierta por la ceniza del volcán de Santa María, Octubre de 1902, por *E. Böse*, 1904..... 51- 54
Núm. 3.—El Mineral de Angangueo, Michoacán, por *E. Ordóñez* (una lámina)..... 55- 74
Análisis de una muestra de granate del Mineral de Pihuamo, Jalisco, por *J. D. Villarello*..... 75- 80
Apuntes sobre el paleozoico en Sonora, por *E. Angermann*, 1904 (una lámina)..... 81- 90
Núm. 4.—Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. Andrés Almaraz para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F., por *J. D. Villarello*..... 91-111
El fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa, por *E. Angermann* (una lámina)..... 113-116
Las aguas subterráneas de Amozoc, Puebla, por *E. Ordóñez*, 1904..... 117-120
Núm. 5.—Informe sobre el temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero, por *E. Böse* y *E. Angermann*..... 121-131
Estudio de una muestra de mineral asbestiforme, procedente del rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, Estado de Michoacán, por *J. D. Villarello*, 1904..... 132-149
Núm. 6.—Estudio de la hidrología subterránea de la región de Cadereyta Méndez, Estado de Querétaro, por *J. D. Villarello*, (dos láminas y un cuadro)..... 151-208
Núm. 7.—Estudio de una muestra de grafita de Ejutla, Estado de Oaxaca, por *J. D. Villarello*..... 213-228
Análisis de las cenizas del volcán de Santa María, Guatemala, por *E. Ordóñez*, 1904..... 229-234
Núm. 8.—Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por *J. D. Villarello*, 1905 (tres láminas)..... 239-289
Núm. 9.—Los xalapazcos del Estado de Puebla, por *E. Ordóñez* (primera parte) 1905 (un plano y cuatro láminas)..... 295-344
Núm. 10.—Los xalapazcos del Estado de Puebla, por *E. Ordóñez* (segunda parte) 1905 (tres planos y tres láminas)..... 349-393
Parergones.

INDICE POR MATERIAS

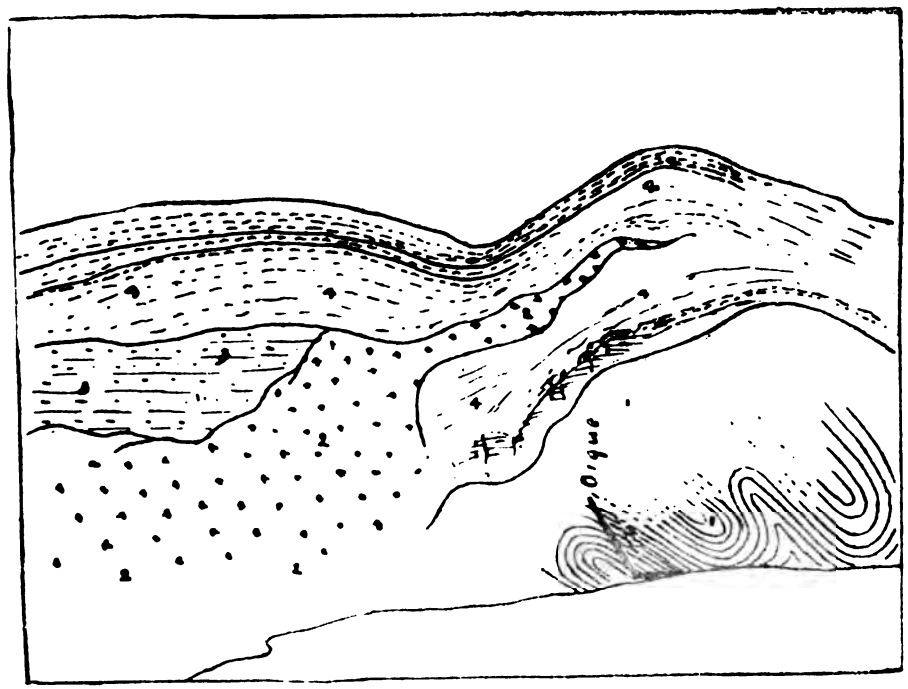
	Págs.
Fisiografía. La Paz, Baja California	31- 49
Geología aplicada. Angangueo, Michoacán	55- 74
— general. La Paz, Baja California	31- 49
— — Paleozoico en Sonora	81- 90
— — Xalapazcos de Puebla	295-393
Hidrología. La Paz, Baja California	31- 49
— subterránea. Amozoc, Puebla	117-120
— — Cadereyta Méndez, Querétaro	151-208
— — Querétaro	239-289
Meteoritología. Fierro de Bacubirito, Sinaloa	113-116
Química mineral. Estudio de la teoría para explicar la formación del petróleo de Aragón, D. F.	91-111
— — Grafita de Ejutla, Oaxaca	213-228
— — Granate de Pihuamo, Jalisco	75- 80
— — Mineral asbestiforme del rancho del Ahuacatillo, Michoacán	132-149
Seismología. Temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero.	121-131
— Temblor en Zanatepec, Oaxaca, á fines de Septiembre de 1902	5- 19
Vulcanología. Cenizas del volcán de Santa María, Guatemala, 51-54 y	229-234
— Estado actual del volcán de Tacaná, Chiapas	19- 25
Xalapazcos del Estado de Puebla	295-393

Lámina XXII.



Vista del borde occidental del axalapazco de Alchichica.

Axalapazco de Atexcaqui. Tobas de la explosión con fragmentos de rocas duras.



1. Pizarras (Cretáceo inferior?)
2. Basalto y tapilli.
3. Tobas amarillas.
4. Tobas grises, productos de la explosión.

Distritos geológicos (Fotografía aérea, Kirkpatrick, Quito)

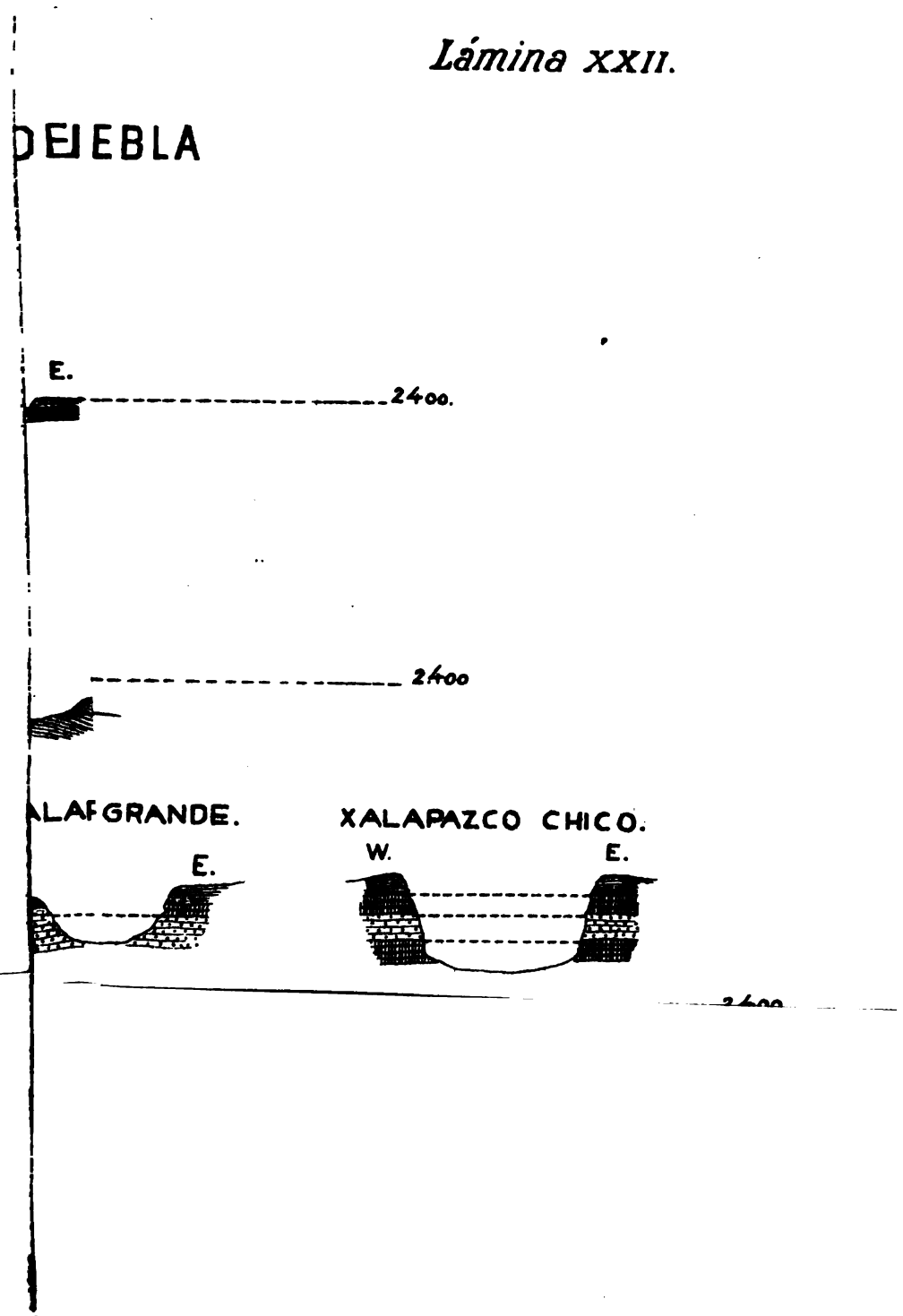
1. Depósito aluvial y coluvial.
2. Depósito aluvial.
3. Tope arenisca.
4. Depósito de la explotación.

Vista de una parte de las paredes del Axalapazco de Atexcaqui.

Axalapazco de la Preciosa.

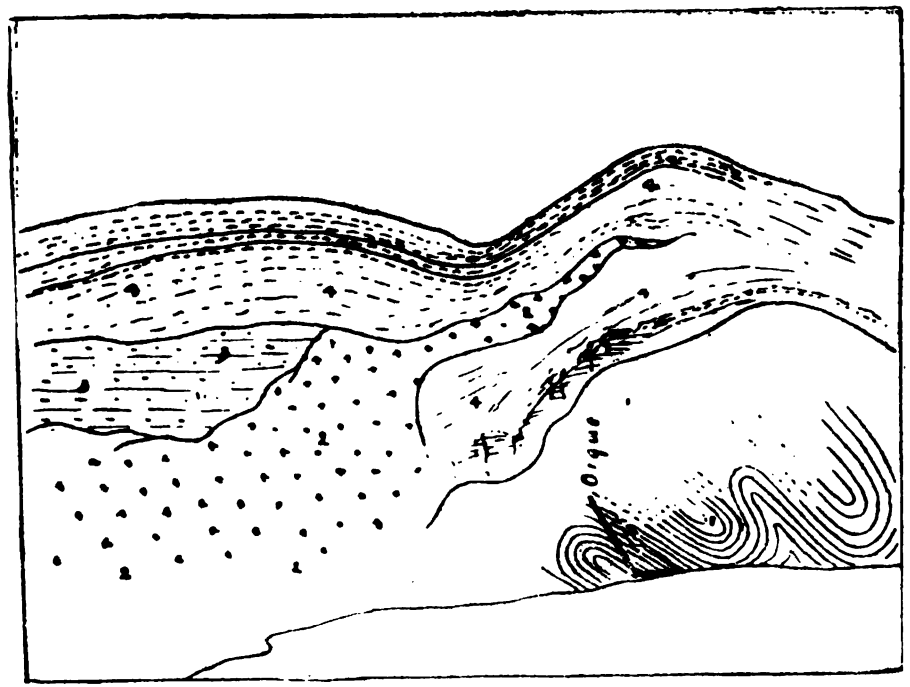
Borde del axalapazco de Quecholac.

Lámina XXII.



Vista del borde occidental del axalapazco de Alchichica.

Axalapazco de Atexcaqui. Tobas de la explosión con fragmentos de rocas duras.



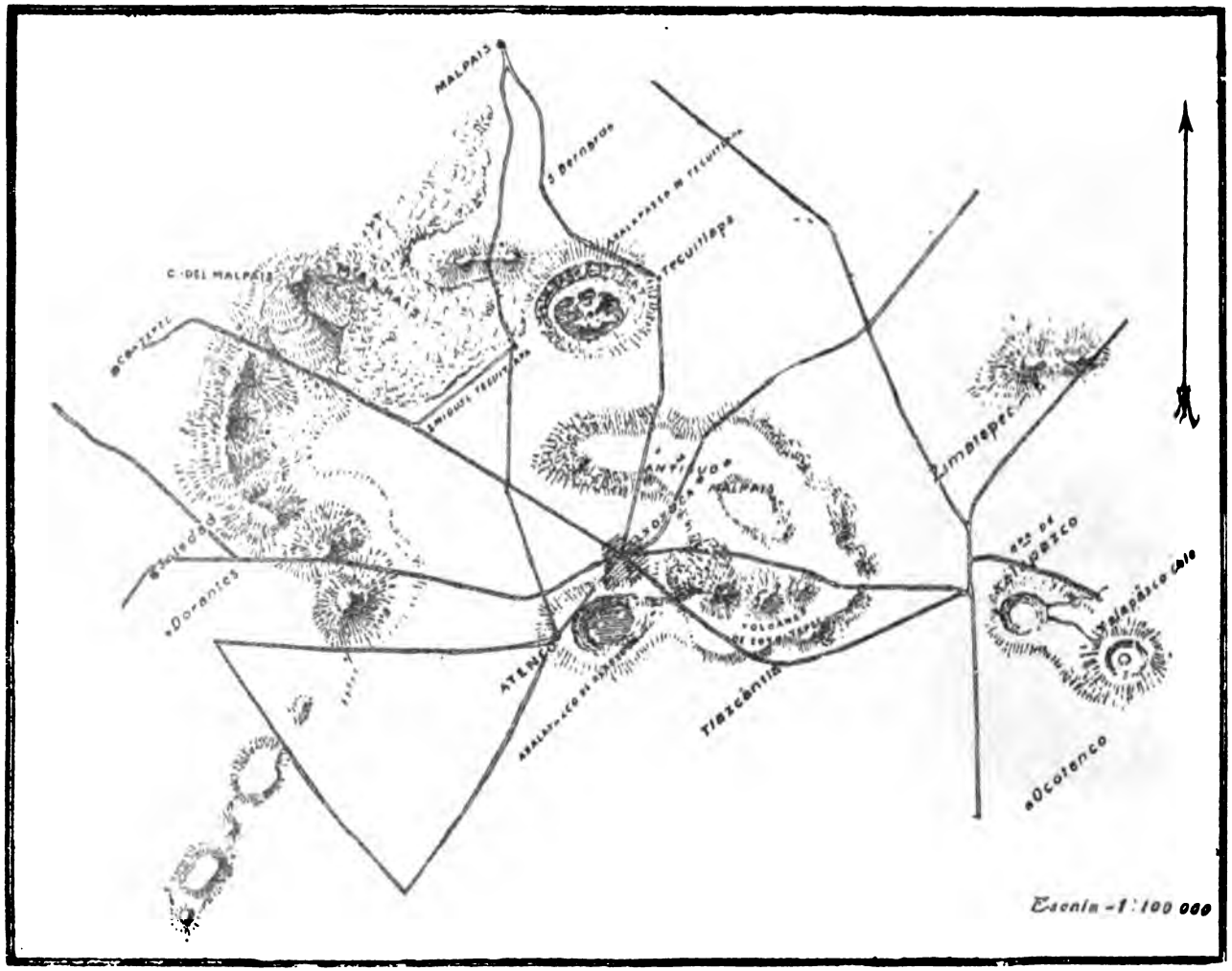
1. Pizarras (Cretáceo inferior?)
2. Basalto y tapilli.
3. Tobas amarillas.
4. Tobas grises, productos de la explosión.

4. Topas kunze, brocquectos de la exploitation.
3. Topas saxatilis.
2. Beryllo y cuarzo.
1. Fluorita (Cerococo fluorita)

Vista de una parte de las paredes del Axalapazco de Atexcaqui.

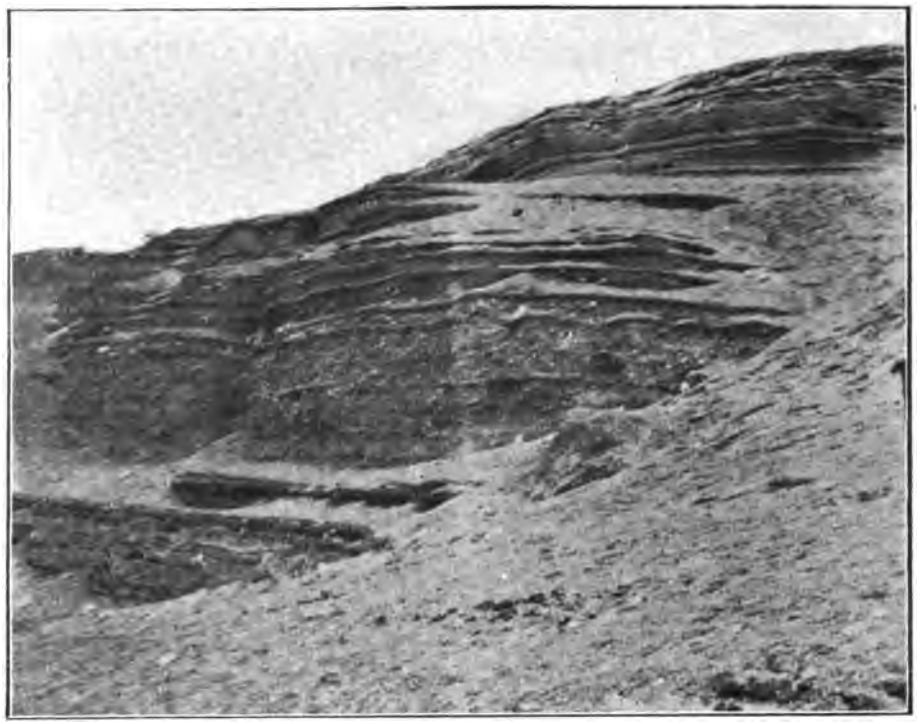
Axalapazco de la Preciosa.

Borde del axalapazco de Quecholac.

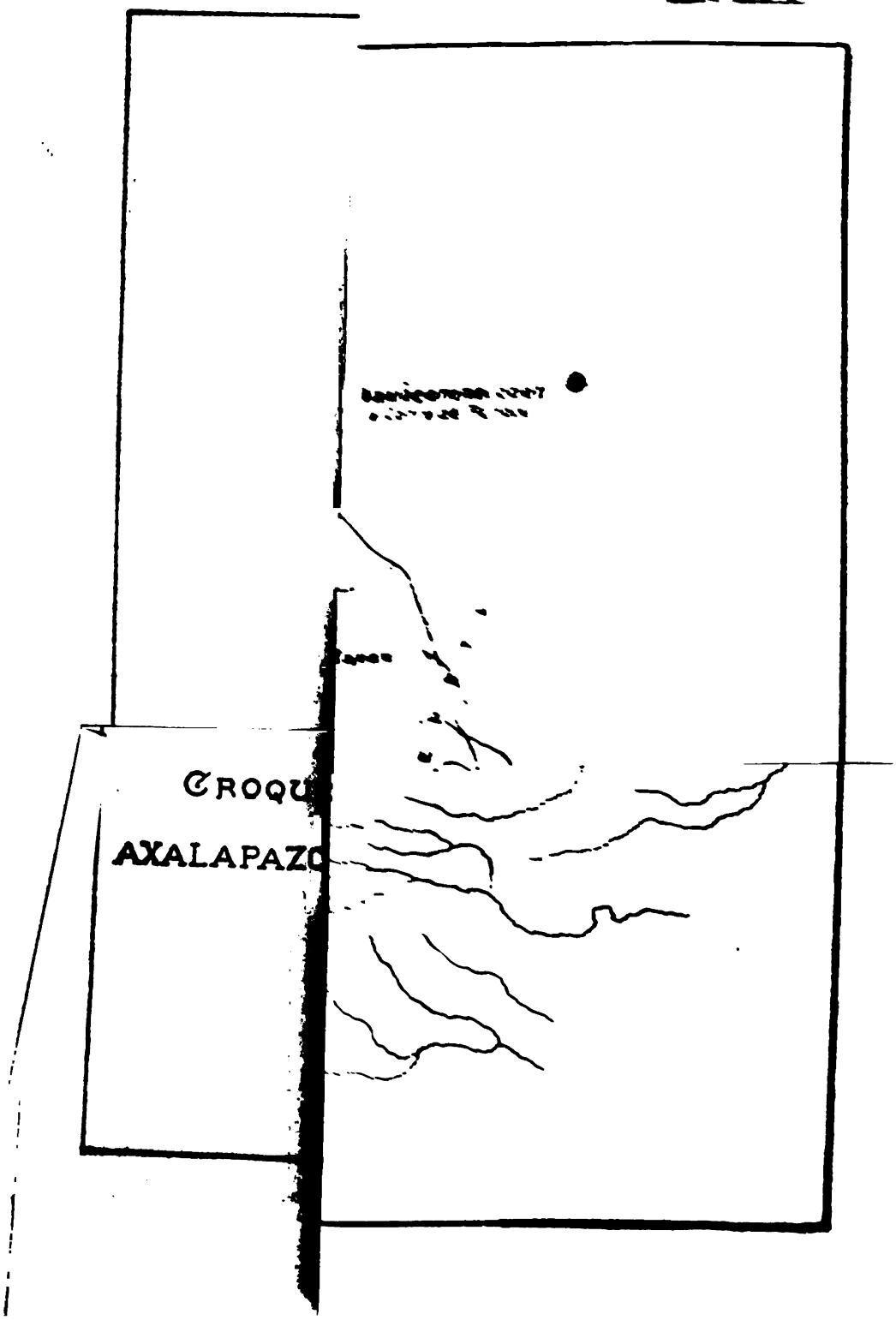

MALPAIS
C. DEL MALPAIS
TECUITLAPA
Doranics
ATENCO
TIZCÁNTLA
Ocotenco
Escala - 1:100 000

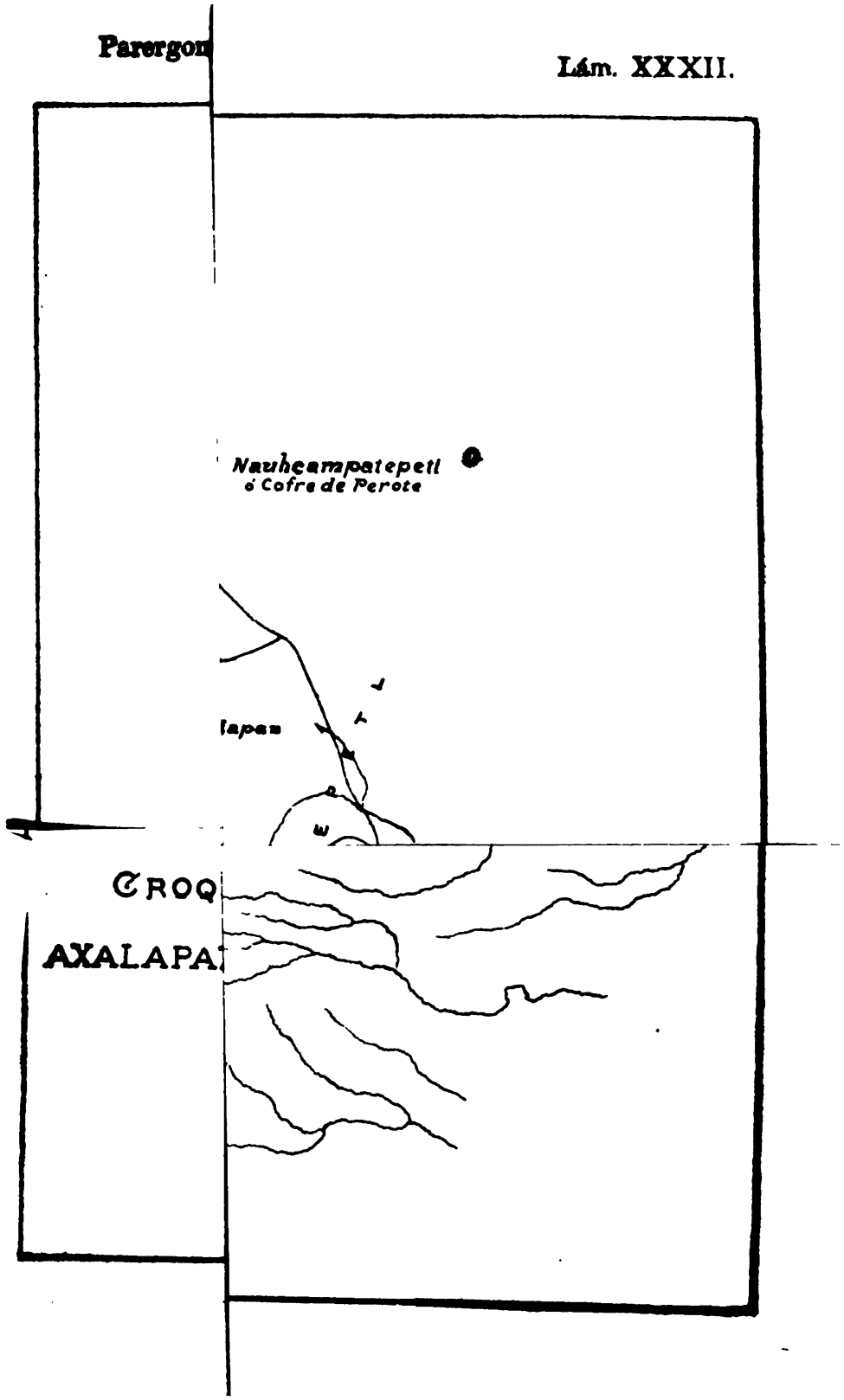
Ondulaciones en las tobas de la explosión. Camino de Alxoxuca á Tecuitlapa.

Entalladuras practicadas por erosión en las tobas del axalapazco de Tecuitlapa.



Entalladuras practicadas por erosión en las tobas del axalapazco de Tecuitlapa.


CROQU
AXALAPAZC


Nauhcampatepetl
ó Cofre de Perote
Iapan
CROQ
AXALAPA

557.2 M61p
Vol 1
#1

Instituto Geológico
Paregones TM Tor
(Vol. 1

NAME (print)	STATUS	ADD
H Ferriz	G	AE
H. Ferriz	US	Geo

SUL 509 rev

Stanford University Libraries
3 6105 002 772 783

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004